神戸大学博士論文

舶用機関システムのシミュレータおよび機関部品の熱応力破壊に関する研究

平成２４年１月

池　西　　憲　治

目　次

第１章　序論

1.1　研究の背景

我が国の外航商船隊の運航形態が近代化船から混乗船へと移行したことにより外航船員の急激な減少や船員の役割に変化が生じ，今後の外航船員の養成を対象とする船員教育機関に対しては，少数精鋭の新人を養成するための海事教育訓練システムを求める強い要望があった[1.1]．一方，内航海運界においては機関部の人数が減少しているため，機関部の新人船員に対しても即戦力の能力が要求されるようになり，実務的な教育訓練への対応が教育現場に求められている．このように，船員を取り巻く環境の変化により，実務能力が高い少数精鋭の船員の養成に加えて，船舶の安全運航に必要な非常時の適正な対応訓練という目的からシミュレータを活用した教育訓練が以前にも増して必要となっている．

このような状況において，航空機をはじめとして原子力発電所や化学プラントなどの分野で運転操作の習熟やヒューマンエラーの減少にシミュレータを使用した教育訓練が役立っていることから[1.2] [1.3] [1.4]，わが国の海事教育の分野にもシミュレータが導入され,操船シミュレータや機関室シミュレータが設置されている[1.5].世界的にも，海事教育の分野でシミュレータは積極的に活用される方向性を示していて，IMO は船舶乗組員に対する資格要件を定めている国際条約である STCW 条約 95[1.6]（Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1995）において機関室シミュレータによる教育訓練を推奨するとともに，シミュレータを使用した船舶機関士に対する教育訓練の内容についてもモデルコースを定めて世界的レベルでの教育内容や教育手法の統一性を図っている[1.7]．

海技大学校においては，船舶の近代化に対応する船員教育訓練用機材として，フルミッションタイプ機関室シミュレータ(以下,フルミッション)が 1987 年に導入され，積極的にその活用を図ってきた．また，機関室シミュレータは従来の教育機材と異なるため，効果的な教育を実施するための教育手法や訓練評価に関する研究[1.8] [1.9]を実施してきた．しかしながら，フルミッションは一度に訓練できる人数が限られているため，多人数の未熟練者である若い学生に対して教育訓練を実施するには実施回数を

増加させなければならず，限られた授業時間において教育訓練を十分に実施するのが不可能となった．そこで，この問題を解決して効果的にシミュレータ教育を実施するため，フルミッションと連携して教育訓練を行う目的でパーソナルコンピュータ（以下，ＰＣ）を活用したＰＣ版機関室シミュレータ(以下，ＰＣ版シミュレータ)を開発した．

しかしながら，海事教育の観点からＰＣ版シミュレータに関して研究を行ったものは，わが国のみならず諸外国においても少なかった[1.10]．そのため，海事教育の分野に新たに出現したＰＣ版シミュレータに関して教育手法や教育効果などに関する研究が望まれている状況であった．そこで，ＰＣ版シミュレータを使用して教育訓練を効果的かつ効率的に実施するために必要な諸問題を解決する目的で本研究を開始した．

また，シミュレータのさらなる発展のためには運転操作に関する手続き的知識獲得に関する教育訓練に加えて，損傷予防の観点からの知識獲得も必要であるので，損傷事故の原因となっている熱応力による破壊現象を明らかにする研究も行った．

1.2 研究の目的

本研究は，ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練における教育効果の向上を図るもので，効果的かつ合理的な教育訓練手法の開発並びにシミュレータを活用した教育訓練の発展を目的としている．そのため，以下に示す項目について研究を行った．

(1)　未熟練者を対象とした教育訓練を重視したＰＣ版シミュレータの開発
(2)　ＰＣ版シミュレータを使用した効果的な教育訓練手法の開発
(3)　ＰＣ版シミュレータ操作時の操作エラーに基づく教育訓練のさらなる改善
(4)　ＰＣ版シミュレータの教育訓練効果に対する時間経過が与える影響の検証
(5)　機関部品の熱応力破壊現象

ここで，研究目的を達成するために必要なこれらの研究項目に関する概要と本研究との関連について述べるとともに，本研究の位置づけを明確にする．

(1)について,海技大学校に設置されているフルミッションとの連携により効果的に教育訓練を実施するために新たに開発したＰＣ版シミュレータは，未熟練者に対する海事教育の充実が開発目的であることから，乗船経験の少ない学生でもスムーズな操作ができるかどうか，操作画面における機器の表示や取り扱いに関して調査研究を行

った．また，今後のシミュレータ開発に役立てるため，ＰＣ版シミュレータを使用した学生に対するアンケート調査により，シミュレータの開発目的が達成されたか否かに関しても調査研究を行った．

(2)について，新たに開発された海事教育教材であるＰＣ版シミュレータは，教室や実験室における授業や実習で使用する教材と異なった教材のため，ＰＣ版シミュレータの有効活用に必要なＰＣ版シミュレータに適した教育訓練手法の開発に関する研究を行った．その背景は，世界的なレベルで幅広く利用される状況となったことから各国の船員教育機関に各種シミュレータが設置され，ＩＭＯのモデルコースとして標準的な教育訓練手法が提案されているが[1.7]，各国の船員教育機関に設置されているシミュレータがモデルコースで想定しているシミュレータと異なっているため，実際の教育訓練にあたってはモデルコースに提示されている教育訓練手法をそのまま適用することは困難であることによる．また，モデルコースでは訓練項目は提示されているが，実際に効果的な訓練を実施するには教育訓練対象者並びにそれぞれのシミュレータに適した教育訓練手法の開発が必要となっている．そこで，本研究ではＰＣ版シミュレータの教育訓練を効果的かつ効率的に行うために，ＰＣ版シミュレータに適した教育訓練手法の開発に関する研究を実施するとともに，学生の理解や訓練効果を高めるための補助教材の作成なども行った．

(3)について，実際にＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練において，学生は様々な操作エラーを行うだけでなく，間違った操作手順を記憶するなど，適用した教育訓練手法の改善が求められる状況が出現したので，学生がＰＣ版シミュレータを操作する際の振る舞いに関するデータについて操作エラーをはじめとして多方面から操作データを収集し，未熟練者の操作エラーの特徴を明らかにして，教育訓練手法の改善にフィードバックさせる研究も実施した．

また，ハードウエアの信頼性が改善されている現状においては，機関システムの信頼性を低下させる要因となっている操作エラーであるヒューマンエラーの減少が必要なことから，ヒューマンエラーに注目した．そこで，実際の現場での収集が困難な操作エラーをＰＣ版シミュレータを活用して抽出し，未熟練者の操作エラーであるヒューマンエラーの特徴を明らかにする研究を実施した．

(4)について，シミュレータを実際に使用している教育機関が少ないことから，シミュレータ教育の有効性を論じる場合に，具体的に教育訓練の効果を検証して論じるこ

とは少ない[1.11]．そこで，実際にＰＣ版シミュレータ使用している立場から，教育訓練の効果について検証を行うため，知識が獲得される過程や操作における学生の振る舞いに関して時間経過が与える影響に関して研究を実施した．

(5)について,機関士教育に使用されている現在のＰＣ版シミュレータについては開発の余地があり，各国メーカや海事教育訓練機関はその開発に努めている．本研究ではＰＣ版シミュレータを総合的教育訓練教材と位置づけ，現場において経験することが少ない故障状況に関する情報提示にかかわる基礎研究を行った．その目的は，シミュレータが得意な操作手順の習得のような手続き的知識の獲得に加えて，損傷原因について理解を深めることである．そのため，実際の損傷事故の原因となっている機関部品の熱応力による破壊現象を明らかにして，それらの現象を学生に提示するために必要な基礎研究を行った．

1.3 本論文の構成

第１章では，本研究の背景とその目的を示し，海事教育の分野に新たに出現した教育機材であるＰＣ版シミュレータに関して，開発からその活用や教育効果にいたるまでの研究を実施することにより，従来行われていなかったシミュレータに関する系統的な研究を行ったことを示した．

第２章では，開発したＰＣ版シミュレータについて，最初に開発の背景を述べ，続いて従来のシミュレータと異なる点を中心にその特徴を明らかにした．最後に，使用した学生によるシミュレータの評価に基づき，本シミュレータの開発目的の達成度に関する考察結果について述べた．

第３章では,ＰＣ版シミュレータを用いた多人数の学生に対する教育訓練において,各種の教育訓練手法を適用した場合の教育効果の差異に関する研究結果について述べた．そして，各教育訓練手法の得失を明らかにすることにより，効果的な学習方法に関してその方向性を示した．

第４章では，ＰＣ版シミュレータを活用した研究として，ＰＣ版シミュレータの操作データに基づいて操作時の操作エラーの特徴を明らかにした．未熟練者が犯しやすい操作エラーについて調査研究を行い，ＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練において非常に重要な操作エラーを減少させるために必要なインストラクターの指導項目や

その役割を示した．また，視線観察装置を用いて学生がＰＣ版シミュレータを操作するときのマウス操作や画面注視に関するデータの収集を行い，各機器の運転操作に必要なマウス操作の特徴並びに画面の注視や視線移動の状況に関する研究結果について述べた．本研究により自動車の運転操作では行われている視線観察[1.12]と同様にＰＣ版シミュレータにおける操作時の振る舞いを明らかにした．

第５章では，シミュレータの有効性は各シミュレータメーカ並びに海事教育機関は述べているが，実際にその効果を検証した研究は少ない．本章では，ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練により知識が獲得される過程および操作における学生の振る舞いに関して時間経過が与える影響について研究を実施し，ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練の効果を明らかにした．

第６章では，将来のシミュレータの開発にあたって必要な機器の故障原因を理解するための情報提示に関する基礎研究を行った．海技大学校におけるＰＣ版シミュレータを用いた海事教育訓練の主たる目的は操作手順に関する知識の獲得や故障時の対応訓練である．しかしながら，それらの知識獲得だけでは機関士として必要な知識としては不十分であり，さらなる知識獲得が求められている．そこで，ＰＣ版シミュレータを活用して総合的な学習ができるように，故障原因として数多くの機器で出現している熱応力よる機関部品の破壊現象に関して研究を行った．その結果，熱応力に関する知識獲得により主機関の運転操作における熱応力の重要性について理解することでき，運転操作の知識として非常に役立つことの方向性を示した．従って，これらの知識を獲得できる機能をＰＣ版シミュレータに付加することの利点を明らかにした．

第７章では，本研究を通して得られた結論を総括した．

［第１章参考文献］

［1.1］ 船主協会編，今後の船員精度の近代化のあり方，船協月報　Vol.33 No.7，P14-19，(1992)

［1.2］ 航空輸送技研編,運航乗務員のヒューマンファクターに係わる教育訓練に関する調査研究報告書，航空輸送技研，(1998)

［1.3］ 石井裕剛他，「人工現実感技術を用いた原子力プラント運転の体験型教育システムの開発」，ヒューマンインタフェース学会論文誌， Vol.2，No.4，P331-340，(2000)

［1.4］ 宇部興産(株)でのプラント運転訓練シミュレータの利用,來島征一,分離技術，第30巻2号，P17-21 (2000)

［1.5］ 中村　峻･池西　憲治,機関士教育･訓練の国際的動向,日本舶用機関学会誌，Vol.32 No.2，P86-94，(1997)

［1.6］ 国土交通省海事局監修，英和対訳 1995年STCW条約(正訳)―1978年の船員の訓練及び資格証明並びに当直の基準に関する国際条約の改正版，成山堂 (2003)

［1.7］ ENGINE-ROOM SIMULATOR　(IMO-Model course 2.07) (2002 Edition)

［1.8］ T. Nakamura, An Assessment Criterion with respect to Training the Marine Engineer as an Operator, 3rd Int. Con. On Engine Room Simulator, Denmark, P11-20，(1997)

［1.9］ 中村　峻ほか,教育用機関室シミュレータ,日本舶用機関学会誌,Vol.22 No.6，P379-387，(1987)

［1.10］中村　峻，訓練用ディーゼルプラントシミュレータ，日本舶用機関学会誌，Vol.24 No.2，P59-65，(1989)

［1.11］K. Ikenishi Etc., Proceeding of 7th International Conference on Engine Room Simulator (CDROM, 2005)

［1.12］小坂 洋明他，出会い頭事故発生時のドライバの視線移動，自動車技術会論文集37(1)，P191-195，(2006)

第２章　ＰＣ版機関室シミュレータの開発と評価

2.1 概要

日本人船員の配乗形態が外国人船員との混乗へと変化し，ＯＪＴによる教育訓練が困難な状況となり，シミュレータによる事前の教育訓練がますます重要となってきている．機関士の職務は，機器の運転操作，運転監視，機器の保守整備，管理業務に大別されるが，シミュレータは運転操作や運転監視に関する教育に適している[2.1]．

海技大学校では，1987 年に船舶の機関システムを模擬したフルミッションタイプ機関室シミュレータ（以下，フルミッション）を開発し，教育訓練に使用している．しかしながら，フルミッションでは一度に実施できる人数が３～５名と少なくて十分な学習機会が得られないこと，外国人及び日本人の未熟練者に対する導入教育が必要となったことなどの諸問題を解決するため，フルミッションと同様の機能を持ったソフトウエアをパーソナルコンピュータ（以下，ＰＣ）にインストールして，多人数の未熟練者に対する教育訓練が実施できるＰＣ版機関室シミュレータ(以下,ＰＣ版シミュレータ)を新たに開発した.その特徴は機関システムの総合的な運転操作がＰＣで可能こと及び未熟練者が理解しやすい操作画面と学習支援機能である.

両者を連携することにより，ＰＣ版シミュレータで運転操作に関する基礎知識を習得した後にフルミッションで総合的な運転操作知識を獲得するという教育訓練が可能となったが，シミュレータを使用した多人数に対する教育訓練は，我が国並びに諸海外でもその例は少なく[2.2]，効果的な教育手法を自ら開発しなければならなかった．

ＰＣ版シミュレータはＰＣのディスプレー画面上に表示されている機関システムを構成している各機器や配管系統のバルブを操作することにより，船舶機関システムの運転操作や運転監視業務に関する教育訓練が実施できる教育機材である．そのため，開発目的である多人数に対するシミュレータを使用した教育訓練や自学自習に対応できることを考慮して，未熟練者に対する導入教育がスムーズに実施できるようにフルミッションにはない学習支援機能を新たに追加している．従って，ＰＣ版シミュレータのモデル船はフルミッションと同じコンテナ船で，主機の種類は２サイクルディーゼル機関，シリンダ直径 900mm，シリンダ数７，出力 MCR 24,05kw・86rpm である．そ

の他の補機器類もフルミッションに準じた機器構成となっている．

第２章では，最初にＰＣ版シミュレータの概要について述べ，続いて多人数や自学自習に対応できるように新たに追加した学習支援機能およびそれらを用いて効果的な教育を実施するために必要な教育訓練手法について述べる．最後に，ＰＣ版シミュレータの改善や最適な教育手法の適用を目的に実施したアンケート調査により，日本人学生及び外国人研修生による開発したシミュレータに関する評価について述べる．評価については，インターフェース・教育手法・教育効果の観点から考察するとともに日本人学生と外国人研修生の違いを明らかにし，シミュレータを使用した教育訓練における改善点を示す.

2.2 ＰＣ版機関室シミュレータの概要

2.2.1 ＰＣ版機関室シミュレータの開発目的

ＰＣ版シミュレータとフルミッションの特徴を表 2.1 に示すが，フルミッションは実際のシステムに似ていて，シミュレータによる訓練を通じて実際のシステムの運転操作の方法に習熟することを主たる目的として開発されている．そのため，実際の現場で使用されているものと同様の計器類や主機の操縦装置を用いてシステムが構築されている.

表 2.1 フルミッションとＰＣ版シミュレータの比較

	フルミッション	ＰＣ版シミュレータ
訓練人数	少人数	多人数
操作方法	実際のシステムに似ていて，習得に時間を要する	マウスによる操作であり，非常に簡単である
臨場感	音などが実際のシステムと同様	臨場感が少ない
インストラクター	常にインストラクターが必要	インストラクターがいなくても実習が可能
汎用性	シミュレータに特化	多目的に使用できる
最新システムへの変更	変更が困難である	ソフトの変更により可能
個人の進度に合わせた訓練	困難	容易
部分的シミュレーション	困難	容易
価格	非常に高価	１台当たりの価格は比較的安価

一方，ＰＣ版シミュレータは臨場感や実際の運転操作の点ではフルミッションに劣っているが，多人数に対する教育や個別学習の点では勝っている．従って，ＰＣ版シミュレータをフルミッションの目的としている運転や操作方法を習熟するために集団で訓練を実施する教材として使用するよりも，個人の能力や進度に従って教育を行うための個別学習用の教材として用いた方がシステムの有効活用が図れると判断した．その結果，機関士として必要な機関システムに関する知識や操作技能を多人数の学生に習得させる教材としてＰＣ版シミュレータを用いることにした．このことは，シミュレータというよりＣＡＩ（Computer Aided Instruction）システムとしての役割をＰＣ版シミュレータに期待することである．従って，この役割を果たすことがＰＣ版シミュレータの特徴を活かすことでもあり，シミュレータの新たな使用法を見いだすことにもなる．そこで，ＰＣ版シミュレータを機関システムの基本的な運転操作に関する知識獲得のための教育訓練に使用するにあたり，多人数の学生が異なった進度で学習ができる教育訓練用教材として使用することも考慮して開発を行った．

シミュレータの機能については，機関士として必要な知識や技能を修得させるための教材であることから，ＳＴＣＷ条約に基づいている我が国の国家試験の内容[2.3]を参考にし，機関士としてどのような知識が必要か検討を行った．その結果，主として次の３項目の教育を効率的に行える機能をＰＣ版シミュレータに与えた．

・　機関システムの総合理解
・　機関室内各機器の運転操作
・　当直業務に関する教育
　（機関システムの運転監視，異常時の対応及び故障の発見）

2.2.2 ＰＣ版機関室シミュレータの全体構成について

ＰＣ版シミュレータは，１台のインストラクター用ＰＣと 20 台の学生用ＰＣがＬＡＮ（Local Area Network）により結合されている既存のネットワーク教育システムを流用した．このシステムは円滑な教育が実施できるようにインストラクターと学生間の質疑応答や相互の画面が見られる機能を有していて，自学自習にも十分対応できるシステム構成となっている． 従って，開発に当たり新たに購入した機器は無く，既存の教材の有効活用としたため開発費用の節約が可能となった．また，市販のＰＣを使用することにより，将来の拡張や故障時の対応が容易となり，維持費の低減が可

能なシステム構成となった．

従来のＰＣ版シミュレータはシミュレータ単体として設置されるのが一般的であり，本システムはネットワークで接続されたＰＣ版シミュレータの導入の先駆けとなっている．これは，本システムがインストラクターが多人数の学生に対して指導を行うという教育的観点からの開発を重視した結果であり，従来のＰＣ版シミュレータは個別学習を目的に開発された経緯から，多人数に対して集団的に教育するという発想が無かったからと考えられる[2.4]．

ＰＣ版シミュレータのシステム全体を図 2.1 に示す．各学生のシステムは，操作画面を表示するディスプレーにインストラクターからの指示や他の学生の画面を見るためのディスプレーを追加したため，１台のＰＣと２台のディスプレーで構成されている．また，ネットワークで接続されているため，各学生に対するインストラクターからの指導や故障設定および学生との情報交換や操作情報の収集が可能なシステムとなっている．なお，本システムはＰＣ20 台で構成されているため 20 人の学生への対応が可能であるが，ネットワークに接続されるパソコンの台数を増やせば，より多くの学生に対する教育訓練が可能である．

図 2.1　ＰＣ版シミュレータの全体図

2.3 ＰＣ版機関室シミュレータのソフトウエアの機能

機関室シミュレータの開発はヨーロッパの会社が中心となって行われているため，我が国の船員教育機関である海技大学校に設置するＰＣ版シミュレータとして教育目的に合致するソフトウエアが無かった．従って，市販のソフトウエアを購入するという選択肢がない状況であったことと，海技大学校のフルミッションとの連携および教育訓練の充実を図るため，三井造船株式会社と寺崎電気株式会社と共同でＰＣ版シミュレータ用のソフトウエアを開発した．

開発したソフトウエアはインストラクター用と学生用の 2 種類である．各ソフトウエアの特徴を次に示す．

2.3.1 インストラクター用ソフトウエアの機能

ＰＣ版シミュレータにおけるインストラクター用のソフトウエアは，教育訓練全体を管理して学生の指導を効果的に実施するために以下の機能を有している．

①　出欠管理機能

授業の始めに学生がパソコンの電源を入れているかどうかの確認を行うことにより出欠を確認できる機能である. 20 名の学生について, 出席していれば緑色で表示され, 欠席の場合は赤色で表示される．この機能を用いることにより，インストラクターの出欠管理の負担が軽減される．

②　船橋機能

学生の学習モードが全体学習の時に, 学生のＰＣの画面は機関室と制御室を模擬し, インストラクターのＰＣの画面は船橋のシステムを模擬している．学生のＰＣとネットワークで接続されているため，船橋機能を持っているインストラクターのＰＣから全ての学生に対してテレグラフやサブテレグラフの指示及び主機関の運転操作を遠隔で行うことができ，学生はそれら船橋からの指示に従って機関作業や運転操作を行わなければならない．

③　故障設定機能

故障対応訓練を実施する際，この機能を利用してインストラクターは学生のＰＣ版

シミュレータに様々な故障を設定することができる．故障の種類は実際の船舶における発生確率の高い故障を中心に約 40 である．なお，船橋機能と故障設定機能は図 2.2 に示すようにインストラクター用として同一の画面となっている．

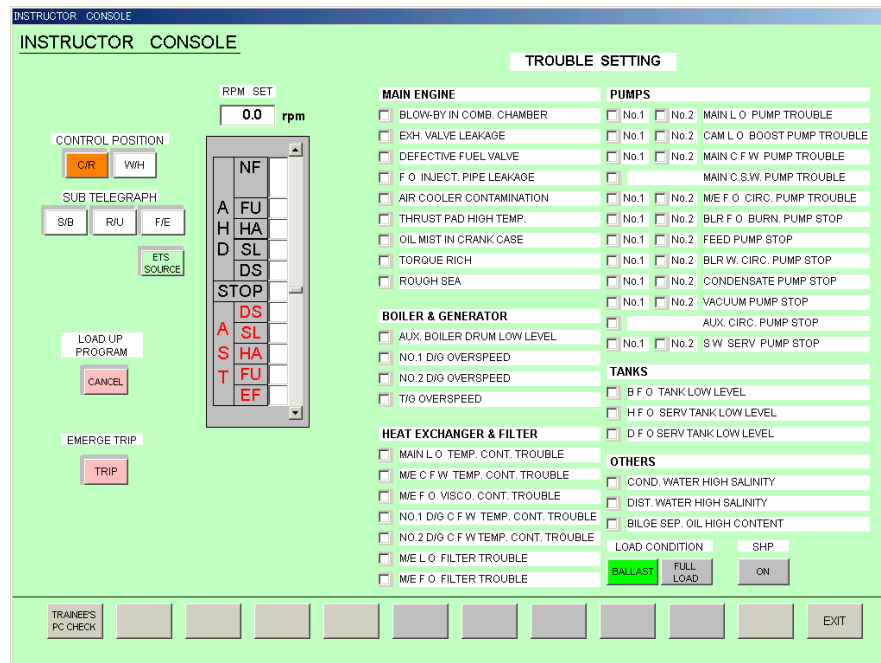



図 2.2　インストラクターコンソール（船橋機能・故障設定機能）

④　操作データ収集機能

学生がシミュレータを操作した際の機器の発停や操作の記録は学生のＰＣに HISTORY DATA として蓄積される．本機能は，インストラクターが学生のＰＣに蓄積された操作データをＬＡＮの機能を用いてインストラクターのＰＣに収集することができる機能である．インストラクターは収集した操作データから学生の操作の間違いや警報の発生を知ることができる．

2.3.2 学生用ソフトウエアの機能

船舶の機関システムの停泊状態，航海状態等における各機器の運転操作及びその運転操作に対応したシステムの変化を模擬するソフトウエアを開発した．これらの機能により，学生は通常の運転操作に加えて，異常時の対応訓練や故障診断の訓練を行うことが可能となった．従って，先に述べたように船舶機関士の職務内容に応じた以下の目的の教育訓練が実施できる．

(1) システムの総合理解

(2) 各機器の運転操作

(3) システムの運転監視

(4) 異常時の対応訓練及び故障診断

なお，学習支援機能として，「個別条件の設定変更機能」,「故障診断支援機能」,「ＨＥＬＰ機能」がある．

2.4 海事教育の効果向上を目的に開発した機能

ＰＣ版シミュレータの開発にあたっては，前述の教育訓練を実施するための機能に加えて，フルミッションとの連携による教育訓練も考慮し，次のような機能を持つシミュレータのソフトを開発した．なお，これらの機能は相互に関連しており，機関士として必要な知識や操作技能を効率的に獲得することにも配慮している．

2.4.1　システムの総合理解のための機能

実際のコンテナ船の機関室内に装備されている主機を始めとする数多くの機器の運転操作が可能である．しかしながら，フルミッションの場合は機関室を模擬している大きなグラフィクパネルと実際に使用されている船舶と同様の制御盤を設置しているが，ＰＣ版シミュレータはパソコンの画面という限られた領域で操作するため，数多くの画面が必要である．

そのため，他のメーカーもＰＣ版シミュレータの操作画面を複数の画面に分割している[2.5]．開発したＰＣ版シミュレータは学生が理解しやすいように複雑な機関システムを 12 のサブシステムに分割するとともに,機関室内の主要機器の運転操作をサブシステム毎に運転することが可能な機能も有している．

サブシステムを分割する場合，どのようなサブシステムに分割するのかが重要である．そのため，ソフトウエアの開発に当たっては，主機や発電機などの主要機器はそれぞれ独立したサブシステムとし，その他は配管内を流れる流体ごとにサブシステムを構築した．従って，ＰＣ版シミュレータでは，教育訓練対象のサブシステムが Training Item として，図 2.3 の右側に示す 12 のサブシステムに分割されている．その結果，各サブシステムを理解した後にシステム全体の総合理解へと教育訓練を進め

ていくことにより,複雑なシステム全体を効果的に理解することが可能となっている.

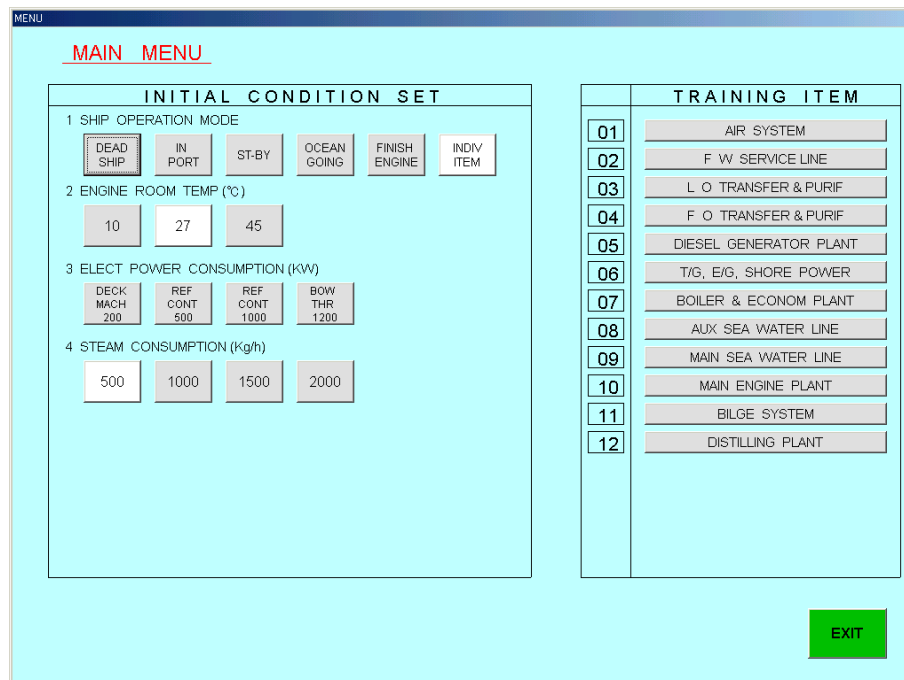



図 2.3　メインメニュー

2.4.2　マウスによる運転操作機能

ＰＣ版シミュレータにおける弁の開閉や機器の運転・停止の操作は，マウスにより操作することで模擬している．その目的はシミュレータに慣れるまでの期間（ファミリアゼーションと呼ばれている）を可能な限り短くするもので，シミュレータの操作はマウスのポインターを操作する機器や弁に移動させて左クリックするだけで機器の運転や弁操作を実施できる仕様となっている．操作によるシステムの状態変化は，機器の操作部や弁の表示色の変化により示される．操作前のディーゼル発電機のシステムを図 2.4(a)に示し，操作後の同システムを図 2.4(b)に示す．

図 2.4(a)に示されている薄い緑色の表示色から図 2.4(b)に示されている濃い緑色の表示色に変化している機器や弁が操作した個所であり,ポンプでは運転状態を示し,弁類では開の状態を示している．ただし，正方形のポンプは表示色の変化により運転状態を示しているが直結運転のポンプのためマウスによる運転停止の操作ができないポンプである．また，システムの状態変化はモニター画面で確認することができる．

マウスを用いてこれらの運転操作を行うことにより，学生は複雑な舶用機関システムの基本的な操作手順や運転監視に関する知識を習得することが可能となっている．

このように，シミュレータを使用した教育訓練は，能動的な学習環境における教育実践である．なお，運転操作のための画面は合計 19 画面，運転状態を確認するためのモニター画面は合計 22 画面であり，卒業後に学生が外航海運の混乗船へ乗船することを考慮して画面は全て英語表示となっている．

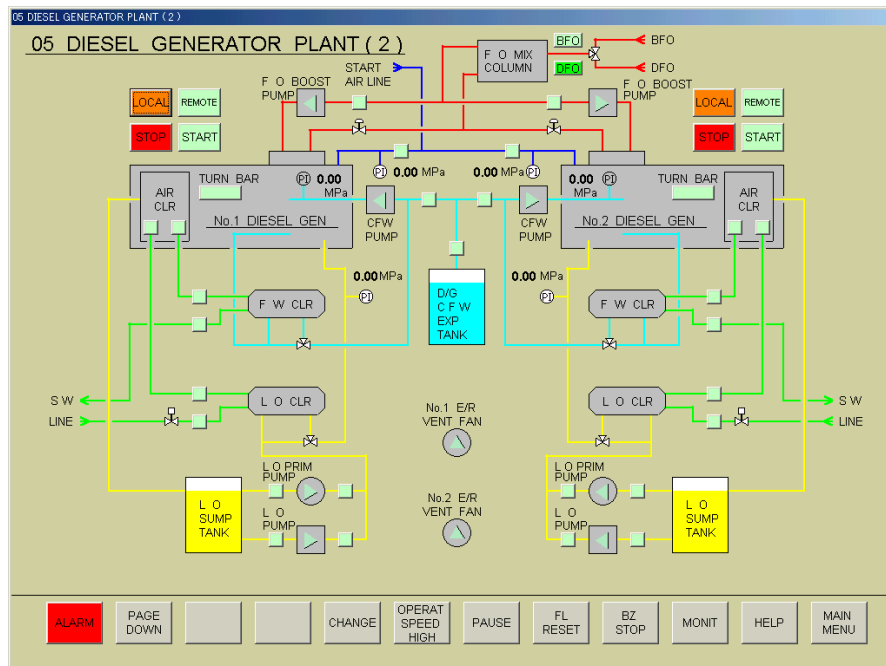



図 2-4(a)　ディーゼル発電機（操作前）

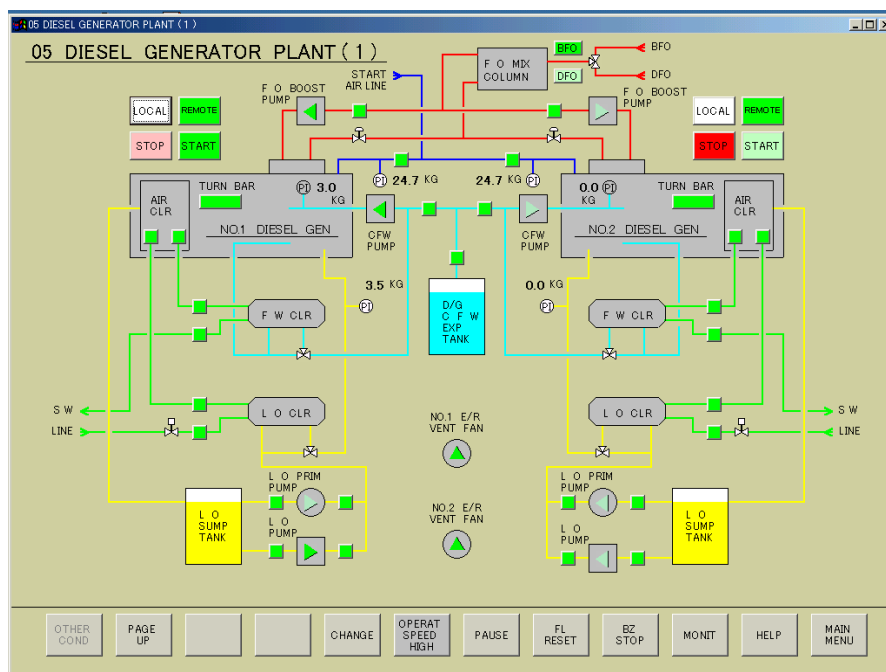



図 2-4(b)　ディーゼル発電機（操作後）

各機器の作動原理については主として教室において学ぶが，ＰＣ版シミュレータの訓練により機関室内にどのような機器があってそれらがどのように接続されているのか，またそれらの機器がシステムの中でどのような役割を果たしているのか，機関システム全体を理解することができる．そのため，機関室内の主要機器並びに配管をグラフィックにより画面に表示しているが，各機器の接続状態について容易に理解できるようにある程度簡略して描かれている.また,各機器を結合しているパイプラインを辿ることにより，機関室内各機器の全体構成を理解することができる．また，このグラフィックを用いて次に述べる機関室内各機器の運転操作を行うことができる.

2.4.3 機関システムの運転操作に必要な機能

機関システムの運転操作に関する知識は，一般に機関室内において実際に行われる作業を通じて獲得されているが，機関システムの運転操作に関しては船ごとに異なっている．従って，運転操作の機能としてはルール化されている基本操作を学ぶことができる機能となっていて，機関士の一般的知識として必要な程度の基本的な操作知識を獲得することができる．また，船内において異常事態が発生した場合には手動で運転されることがあるので，自動運転と手動運転の両方の操作ができる機能も主たる機器については可能である.

なお，機関システムの運転操作については，入港状態や航海状態における通常の運転操作だけでなく，入渠時や出渠時などのさまざまな船舶の運航状態にも対応できる機能を有していて，船舶の異なる運航状況における機関室内の状態を把握することが可能である.機関の運転操作については，以下の項目について学習することができる.

＊　主機関系の運転

エアー起動，燃料運転，正転・逆転，増減速，停止，クラッシュアスターン・アヘッド，燃料切り替え操作，警報・安全装置

＊　補助缶および排ガスエコノマイザの運転

補助缶の点火消火，補助缶の単独運転，排ガスエコノマイザの単独運転，補助缶・排ガスエコノマイザの並列運転，補助缶の安全弁作動，スートブロワ操作，警報・安全装置

＊　発電機系の運転

ディーゼル発電機の発停，ターボ発電機の発停，各発電機の単独運転及び並列運転，自動バックアップ運転，ブラックアウトリカバリ運転，燃料切り替え，非常用発電機の運転，陸電の取り入れ，スタンバイ・自動バックアップ機能，警報・安全装置

＊　補助機器類の運転

一般補機（電動機または動力で駆動される補機）の運転・停止・トリップ条件，自動起動及び停止条件，自動バックアップ条件，熱交換器の運転条件，造水装置の運転条件，圧力容器またはタンクの機能，弁類の機能，警報・安全装置

＊　機関制御室からの運転操作

機関制御室からの運転操作機能も有しているため，主機，補助ボイラ・エコノマイザ，ディーゼル発電機，ターボ発電機については，制御室における運転操作を学ぶことができる．

2.4.4 運転監視機能

機関士として当直業務に当たる場合，機関システムの運転状態に関する知識が必要であり，計測される値からシステムの運転状態の良否を判定しなければならない．ＰＣ版シミュレータは実船とほぼ同じモニター機能を有しているため，幅広い情報を獲得でき,機関システムの運転状態に関する知識及び判断の基準に関する学習ができる．

また，機関室内各機器の運転状態が変化した場合や故障発生時において，その原因を探索して正しい対応操作を行うことも機関士に求められている．そのため，船舶で発生する確率が高い故障について，故障発生時の機関の状態変化から原因を追及するための学習ができる．この学習目的の達成を図るため，故障を発生させる機能と故障が発生した場合のパラメータの変化をシミュレーションする機能があり，基本的にはエネルギーフローの観点から説明ができるシステムとなっている．ＰＣ版シミュレータの故障は以下のグループに大別されていて，故障総数は約 50 である．

＊　主機関係故障

＊　ボイラ及び発電機関係故障

＊　熱交換器及びフィルター関係故障

＊　ポンプ関係故障

＊　タンク関係故障

＊　その他故障

2.4.5 自学自習のための機能

ＰＣ版シミュレータには通常のシミュレーション機能に加えて，インストラクターからの指示により学習するだけでなく，学生の知識や進度に合わせて学習するため自学自習をスムーズに行うための機能も求められている．これらの機能を用いて自学自習することにより，積極的な学習が図れるとともに，知識を体系的に獲得することができる．つまり，インストラクターから必要な情報を与えられることより知識獲得する学習方法から，自学自習によりこれらの知識を自ら獲得するという能動的な学習方法への変換を目的としている．

そのため，ＰＣ版シミュレータが自学自習のシステムのための教材として効果が発揮されるよう，以下の機能を追加している．

① 独立運転モード機能

十分な舶用機関の知識及び経験が無くても実習ができ，かつ実習を通じて知識及び技術が獲得することができるように各サブブシステムの実習が可能な独立運転モード機能がある．

この機能を用いると，12 に分割されているサブシステムごとに学習ができるため，操作が簡単なあるいは理解が容易なサブシステムを最初に学習し，その後複雑なサブシステムを理解するという２段階学習の教育手法を適用できる．その結果，フルミッションとの効果的な連携した教育訓練が可能となっている．

② 故障診断支援機能

故障状況に対応した操作を行うには，機関の基礎知識に加えて運転状況の把握などの幅広い知識が必要である．しかしながら，熟練者と比較すると未熟練者はそれらの知識が不足しているため，間違った診断を行うことがたびたびある．その際，故障の原因を提示された中から選択するような方法により診断を行う場合には，未熟練者でもある程度正しい診断が可能となっている[2.6]．従って，故障診断を支援するために図

2.5 に示すように故障原因をデータベース化してモニター機能に組み込んでいる．この機能を用いると，学生が故障診断を行うのが困難な状況になったときに，故障診断に必要な情報を取り出すことができる．

この機能が追加されたことによって，未熟練者が自学自習により故障原因発見の経験を重ねることにより，熟練者と同様の判断が可能となり，診断技能の効率的な上達が可能となっている．

図 2.5　故障原因のデータベース

③　個別条件設定機能

学生の進度により学習を行う自学自習において，各学生が異なったモードの学習が可能なように，機関の運転状態を学生自ら変更することができる機能である．従って学生は，船舶の入渠状態，停泊状態，出入港状態，航海状態などの各運転状態における運転操作を自ら選択して実施する事ができる．また，様々な運転条件におけるシステムの状態の変化を自ら体験することにより理解することができるよう，以下の項目について運転条件の変更が可能である．

＊　船内電気使用量（200kW　500kW　1,200kW　1,500kW）

＊　船内蒸気使用量（500kg/h　1,000kg/h　1,500kg/h　2,000kg/h）

＊　海水温度（10℃　27℃　45℃）

④　ＨＥＬＰ機能

自学自習においては，インストラクターからの指導に加えて自ら必要な知識を獲得することも必要である．そのため，基本操作の途中で間違ったり行き詰まったりしてしまう場合や故障の診断を行う場合，ＨＥＬＰ機能を用いることにより必要な情報を獲得することができる．図 2.6 に操作中のＨＥＬＰ画面を表示している状態を示す．学生が操作に行き詰った時にいつでもＨＥＬＰ機能を使用できることは，運転操作を継続しやすい環境を与えることになり，実際の船舶における機器の操作経験の少ない未熟練者の学生でもスムーズに操作することが可能となっている．

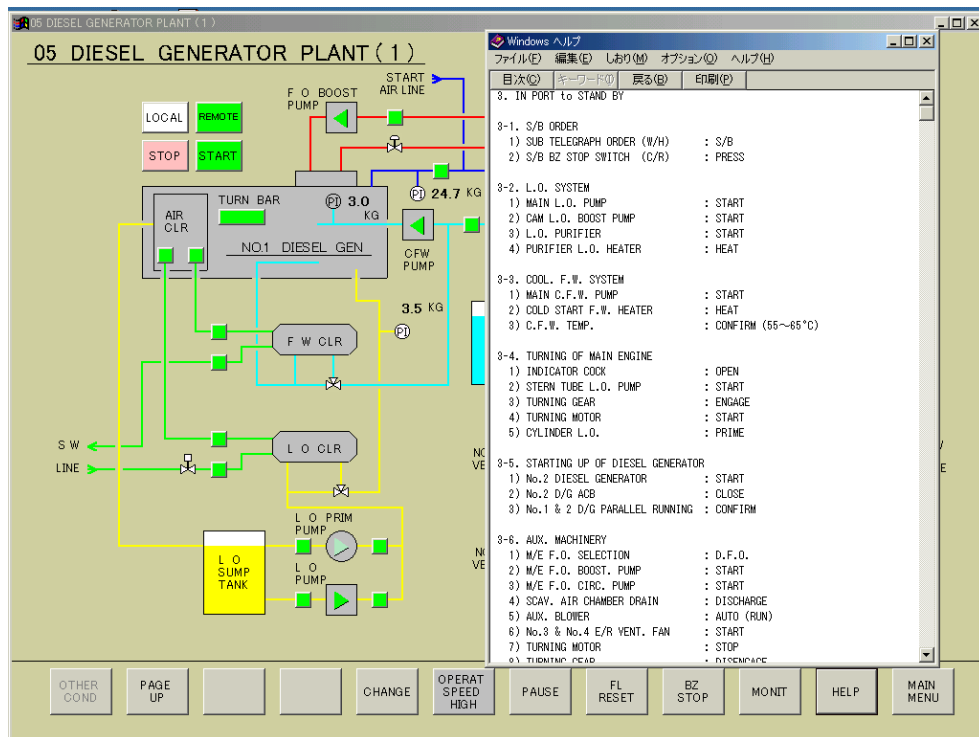



図 2.6　ＨＥＬＰ機能の表示画面

2.5　学生によるＰＣ版機関室シミュレータの評価

新たに開発したＰＣ版シミュレータの開発目的がどの程度達成されたのかどうかを確認するため，ＰＣ版シミュレータを使用した学生によるアンケート調査を行った．また，従来の教育機材と比較してどのような点で優れているのか，またどのような問

題点があるのか，さらにどのような教育手法がＰＣ版シミュレータに適しているのかについてもアンケート調査を行った.

ＰＣ版シミュレータに関するアンケート調査は，自国において３年間の大学レベルの海事教育を受け，乗船前の導入教育を本校において２ヶ月間受講している外国人研修生 21 名（フィリピン 15 名，インドネシア 3 名，バングラデシュ 3 名）並びに海上技術学校（高等学校レベル）において３年間の海事教育を受けて本校に入学した海上技術科の学生 12 名に対してアンケート方式により実施した.両者は世界的規模で船員の能力（知識・技能）を規定しているＳＴＣW条約９５における３級海技士に相当する専門教育を受けており，同レベルの専門知識を有していると見なした. なお，ＰＣの台数及び学習条件を考慮して外国人研修生を２班に分割し，インストラクター一人あたりの学生数に大差が生じない学習環境で教育訓練を実施した. 学生の評価はディーゼル発電機や主機の運転操作に関する教育訓練が終了した時期に，両極５段階の項目得点平均及び項目選択のアンケートより行った.

2.5.1 インターフェースに関する評価

ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練は,個別学習を中心に実施されることから,ある程度の専門知識があれば操作できるインターフェースとすることが開発意図であった. ただし，運転操作及び運転監視を行うには機関システムに関する多くの情報が必要なため，モニター機能は実際の船舶と同様の情報が提示できる高度な機能を持っている. ＰＣ版シミュレータの運転操作及び情報獲得に必要なモニター機能などのインターフェースに関する評価を表 2.2 に示す.

全ての項目について外国人研修生の平均値が高く，開発の意図が評価されている. シミュレータ教育の目的は船舶の運航技術の習得であり，実際の船舶における操作知識との連携が必要であるので，簡単なグラフィック表示から船舶のシステムのイメージや操作後の変化をある程度理解することが求められている. それらに関する評価の値が高いことは,運転操作手順がメンタルモデルとして形成されている[2.7]と推測できる. このようにＰＣ版シミュレータのグラフィックのようなひと目で理解できるような簡単な表示でも機関システムを理解させる役割を果たしていることが確認できた.

表 2.2　インターフェースに関する評価

評 価 項 目	外国人学生		日本人学生	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
操作方法　（簡単５）	4.2	0.61	3.3	1.05
配管図　（簡単５）	4.1	0.91	3.0	1.13
機関システムのイメージ（全てできる５）	4.7	0.48	3.1	1.28
システムの操作後の変化予測（全てできる５）	4.2	0.77	2.8	0.94
モニターの機能　（良い５）	4.9	0.36	3.6	1.00

日本人学生については標準偏差が大きく，少数の低評価者により平均値が低下しているが，操作方法や配管図は適当と評価している．ただし，機器のイメージや操作後の変化に関するメンタルモデルの構築が困難な者もおり[2.7]，グラフィックで表示されている機器を理解するための事前教育の必要性を示す結果となっている．そして，モニター機能に関しては両者とも評価が高く，操作に必要な情報をモニターから獲得していることを示している．

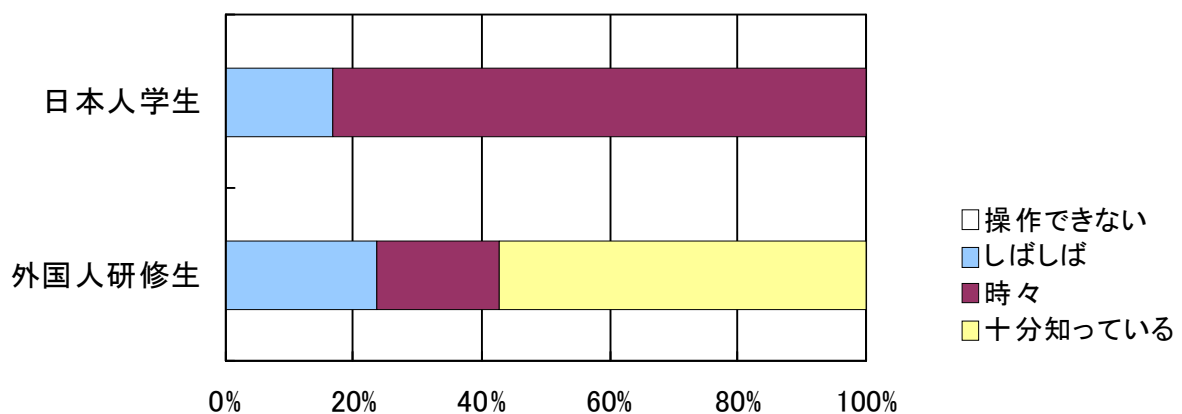



図 2.7　専門用語を知らないことによる影響

また，図 2.7 に示すように専門用語(英語)を知らないことにより操作ができない学生はいないが，しばしば影響を受ける学生が約 20%いる．しかし，時々影響を受けるのは日本人学生の割合が高く，少数ではあるが操作方法及び配管図の表示をやや複雑と評価する一因となっている．船内においても英文表示が一般的であり，専門用語に関する教育の必要性を示す結果となっている．

2.5.2 教育手法に関する評価

ＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練は，各自が判断しながら操作することを重視する個別学習により実施した．教育手法に関する評価を表 2.3 に示す．

学習のペースについては，学習時間が少なかった外国人研修生はやや速いという評価であるが，各自のペースで学習できる環境はいずれも高く評価している．

個別学習においても，インストラクターは教育訓練の効果を高めるには必要であるが，インストラクターの説明については，日本人学生は少ないと感じており，インストラクター側からのより多くの情報提供を求めていることを示している．

操作目標や課題の提示については両者とも評価が高く，特に日本人学生は他の項目と比較しても高い値であり，個別学習において学習が順調に行われていることを示している．また，課題を役立つと評価していることは課題の必要性及び有効性を示す結果となっている．

表 2.3　教育手法に関する評価

評 価 項 目	外国人学生		日本人学生	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
学習のペース（速い５）	4.0	0.62	3.5	0.52
各自のペースで学習できる環境（良い 5）	4.3	0.78	3.4	1.08
自己学習意欲（高い５）	4.4	0.74	3.1	1.24
インストラクターの説明（多い５）	4.4	0.77	2.7	0.49
操作目標が理解できる（全て５）	4.4	0.74	4.5	0.51
課題の提示（役立つ５）	4.7	0.46	4.7	0.46

学習方法に関しては，図 2.8 に示すように個別学習に関してある程度の評価が得られたが，日本人学生はペア学習そして外国人研修生はグループ学習を望む学生も多くいる結果となっている．

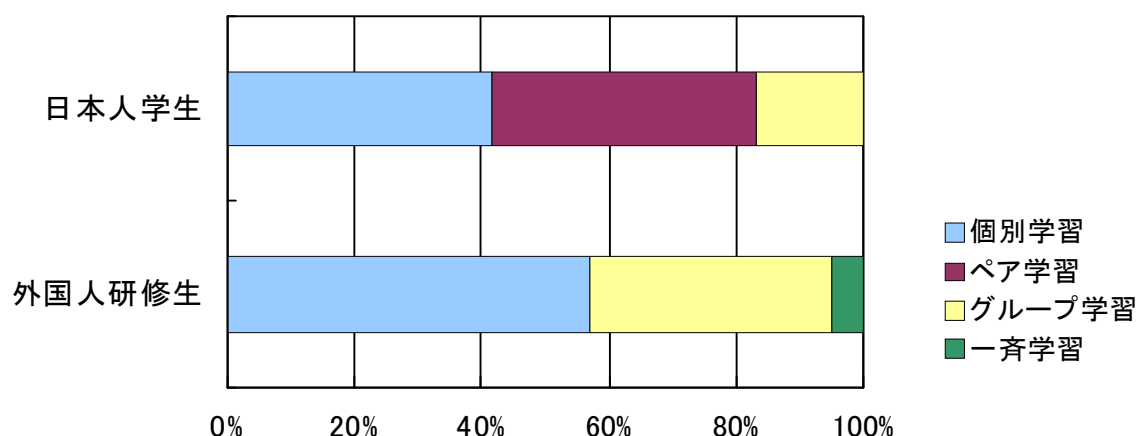



図 2.8 学習方法の選択

2.5.3 教育効果に関する評価

ＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練により得られる教育効果に関する評価を表 2.4 に示す．得られた知識は，運転操作手順の知識だけでなく，図 2.9 に示すように機器の機能や機器の関係，安全装置，機器の運転状態など幅広く知識が得られたと評価している．

表 2.4　教育効果に関する評価

評 価 項 目	外国人学生		日本人学生	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
運転操作手順の知識獲得（役立つ　５）	4.0	0.62	3.2	0.94
実際の船の操作（役立つ　５）	4.4	0.77	3.3	0.97
操作ミスからの学習（よく学んだ　５）	4.2	1.04	3.9	0.87
専門用語の学習（役立つ　５）	4.7	0.46	3.1	1.00

操作ミスから学習したと評価する割合は両者とも高く，シミュレータのメリットが確認できる結果となっている．また，操作を間違ったときに修正する方法を図 2.10 に示す．外国人研修生はインストラクターに尋ねて修正する割合が高いが，自己解決やＨＥＬＰの機能を用いて修正する者も多く見られる．日本人学生は友人に尋ねて修

正する割合が高く，ＨＥＬＰ機能の利用は少ない結果となっている．英語表示のために十分な活用が図られなかったと推測される．

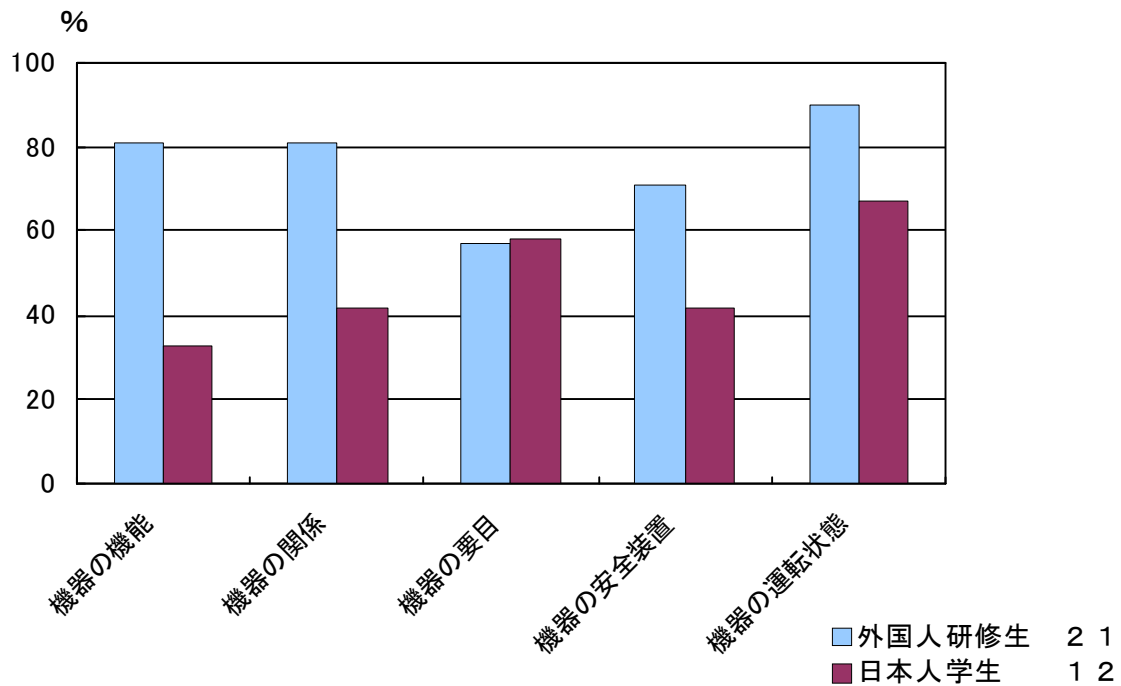



図 2.9　獲得できる知識（複数回答）

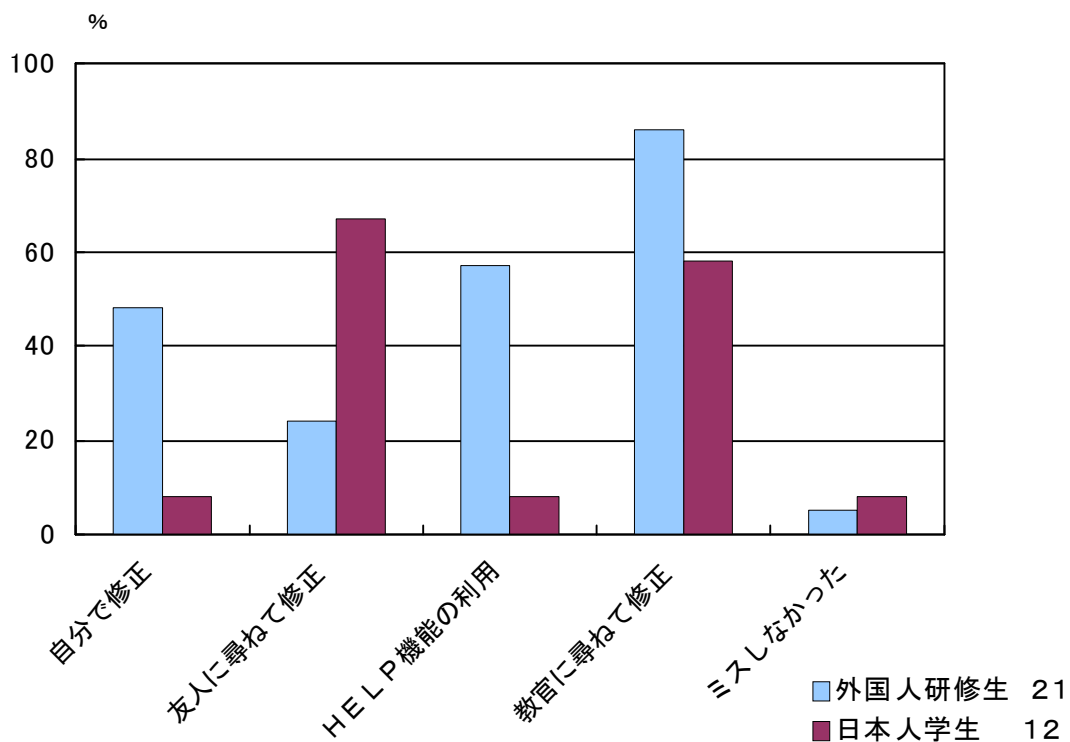



図 2.10　間違ったときの修正（複数回答）

2.6 まとめ

乗船経験の短い未熟練者である多人数の学生への対応並びにフルミッションとの連携を目的にＰＣ版シミュレータを開発した．その結果，ＰＣ版シミュレータと既存のフルミッションとの連携を図ることができ，効果的かつ効率的に教育機材を活用することが可能となった．また，ＰＣ版シミュレータによるシミュレータ訓練は，自ら積極的に体験することにより学ぶ学習方法で，学生のレベルや進度に柔軟に対応できる個別学習法を適用できる環境下における教育訓練であり，従来の受け身の教育から自ら知識を獲得するという能動的教育への転換となっている．本研究からＰＣ版シミュレータを用いた自学自習により有効な教育訓練効果を確認することができ，初期の開発目的である多人数の未熟練者である学生に対する教育訓練への適用について，満足すべき結果が得られた．

今後は，さらにＰＣ版シミュレータを用いた教育をより充実させるため，シミュレータの教育訓練だけでなく，通常授業への導入も考えている．そして，本校が所有する教育機材の有効活用を図り，総合的機関士教育を効果的に実施できる教育手法の開発に取り組み，そのために必要な補助教材の開発も視野に入れている．

また，船舶における機関士の役割として自動化した機械の故障時のバックアップ操作や自動化されていない機器の手動操作がある．つまり，船舶機関士はシステムの安全を最終的に守る役割を果たさなければならず，高い技術的知識が要求されている．しかしながら，信頼性が向上したことにより機関システムは正常に運転されていてトラブルが少なく，これらの知識を体験から学ぶＯＪＴの訓練が困難になっている．そのため，機器の運転に係わる高度な知識であり，ラスムッセン（Rasmussen）のＳＲＫのＫ（Knowledge）[2.9]に相当する知識ベースの訓練ができるシステムの開発も視野に入れている．

さらに，海技大学校は通信教育の課程もあり，船員という職業的特徴並びに住居の所在地の関係から通学による教育が困難な学生に対する教育を行っている．最近のインターネットの普及並びに通信速度の高速化により通信の学生に対する遠隔授業への利用も可能となっている[2.10]．また，費用の点からシミュレータのサブプログラムの一部についての遠隔授業を希望する船社も出現しているので，その対応は将来の課題となっている．

従って，将来においてはシミュレータだけでなく，ビデオ等の視聴覚教材を活用し

た遠隔授業の重要性が増すことが予測される．このことは，我が国だけでなく世界中からのアクセスが可能であり，世界的レベルでの技術向上のための教育訓練が図れる可能性を示しているので，世界的な教育訓練の協力体制が構築された際には，国際的に教育資産の有効活用を図ることができ，世界的レベルで海事教育の向上が期待される．

［第２章参考文献］

［2.1］ K.Ikenishi etc., Engine Room Simulator Based on PC for Effective Self-education, International Maritime Lecturers Association Twelfth Conference，P327-336，(2002)

［2.2］ 中 村 峻，池 西 憲 治，機関士教育・訓練の国際的動向，日本舶用機関学会誌 第 32 巻 第２ 号，P86-94，(1997)

［2.3］ 運輸省船員局監修，新・学科試験科目の細目，海文堂，(1983)

［2.4］ 松井　利幸,マルチメディア環境における教育用ディーゼルプラントシミュレータ，日本舶用機関学会雄第31巻第５号，P307-314，(1996)

［2.5］ Stefan Kluj etc.，THE SELECTED ASPECTS OF THE STEAM ENGINE ROOM SIMULATORS，ICERS6 Proceeding (CDROM)，(2004)

［2.6］ 三原伊文他，舶用機関の故障診断手法に関する一考察，日本舶用機関学会誌第 24 巻２号，P106-114，(1989)

［2.7］ 野尻良彦他，ヒューマンインタフェース学会論文誌，メンタルイメージを利用した事故原因解析，Vol.1 No.1 P29-36，(1999)

［2.8］ 向後千春，個別化教授システム(PSI)の大学授業への適用，コンピュータ&エデュケーション：Vol.7，P117-122，(1999)

［2.9］ 古田一雄著，プロセス認知工学，P45，海文堂，(1998)

［2.10］植野真臣，大学－高専におけるｅ－ラーニングによる授業実践，日本教育工学会論文誌，Vol.27-4，P417-426，(2004)

第３章　シミュレータの海事教育訓練手法に関する研究

3.1 概要

機関士の教育訓練を目的として，1987 年に海技大学校に設置された我が国で最初の本格的なフルミッションタイプ機関室シミュレータ（以下，フルミッション）と連携して多人数の未熟練者の学生に対する教育訓練を主目的に開発されたＰＣ版機関室シミュレータ（以下，ＰＣ版シミュレータ）について，第２章で述べたように実際に使用した学生による評価において,開発目的がある程度達成されたとの評価が得られている.

しかしながら，新たな教育機材であるＰＣ版シミュレータについてはフルミッションと教育目的や教育訓練の形態が異なるので，教育を実施するために必要なテキストの作成や教育内容の構成などは，インストラクターが自ら開発しなければならない.つまり，ハードの開発だけでは不十分であり，シミュレータを用いた教育訓練を効果的に実施するためには教育用教材や教育手法など教育訓練に必要な教育面でのソフトウエアの開発が必要である.

第３章では，海事教育の現場に新たに用いられるようになったＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練を実施するために新たに作成した教材について述べる．また，ＰＣ版シミュレータによる教育訓練を効果的に実施するために必要な教育手法に関する研究成果についても述べる.

最初に，シミュレータを用いてどのような教育訓練が実施できるのか検討し，船舶機関士の職務を念頭に置き，船員になろうとする学生を対象にした教育訓練の種類並びにそれらの教育訓練に対応して新たに開発した教材を示す.

また，ＰＣ版シミュレータはグループ単位で訓練を実施するフルミッションと異なり，学生ごとに教育訓練を行う個別学習に適した教育機材であるので，個別学習を行う場合にどのような教育手法を適用するのが適当か，実際にシミュレータを用いた教育訓練に各教育手法を適用した場合の教育効果の差異を確認するために行った学習実験の結果を示す．そして，それらの結果から各教育手法を用いた場合の教育効果および効果的な教育を実施するための問題点等についての考察結果について述べる.

3.2 ＰＣ版機関室シミュレータの教育訓練のための教材

ＰＣ版シミュレータの開発はシステムの構築やソフトウエアの開発だけでは不十分であり，教育訓練を効果的に実施するには教育におけるソフトウエアである種々の教材の開発が必要である．海技大学校において，ＰＣ版シミュレータを用いて主として未熟練者を対象に次のような教育訓練を実施している．

- 機関室内各機器の運転操作手順に関する知識の獲得
- 機関システムの総合理解
- 運転監視に関する教育（状態監視方法，異常時の対応）
- 故障診断能力の向上

これらの教育目的を達成するため，ＰＣ版シミュレータの教育訓練を効果的に行うために必要な以下に示す教材を開発した．

3.2.1 運転操作手順の知識獲得に関する教材

システムを安全に運転操作するためには機器の操作順序である手続き的知識[3.1]を獲得しなければならないが，ＰＣ版シミュレータによる教育訓練は自ら学ぶことに重点を置いているため，各学生の自学自習が可能なように各サブシステムの操作手順についてテキストを作成した．従って，各学生はテキストを参照しながらＰＣ版シミュレータの操作を行い，インストラクターから提示された操作目標を達成することができる．教材の作成にあたり，ＰＣ版シミュレータは 12 のサブシステムで構成されているのでサブシステム毎に教材を作成した．＜付録１参照＞

なお，海技大学校においては日本人の学生に加えて海外の教育機関の先生を始めとする外国人の研修生もいるため，外国人に対する教育訓練に必要な英語版テキストも作成した．

3.2.2 機関システムの総合理解に関する教材

機関システムの各機器の構造やその働きについては授業で教授されているが，システムとして総合的にそれらの機器がどのような役目を果たしているのか，あるいは運転操作においてどのよう点に注意するのか，操作手順以外に機関士として必要な知識

を獲得するため，サブシステム毎に課題を与えている．＜付録２参照＞．

実際の船舶に乗船しなければ得られないような知識の獲得を目的とした教育訓練を実施するには，ＰＣ版シミュレータの操作訓練に加えて，実際の船舶の運転操作に必要な知識や各機器の自動運転の条件なども学ばなければならない．そのため，インストラクターは運転操作に基づいた課題を学生に与えて，機関システムを総合的に理解させるようにしている．従って，インストラクターとしての必要条件は実際の船舶における運転経験であり，総合理解に必要なシミュレータ訓練に適した課題作成の能力が求められている．

3.2.3 運転監視に関する教材

また，機関士が機関システムの運転監視を行うためには，運転中の各機器の主要な計測値を理解しておかなければならない．実際の現場では，警報により機関システムの故障が発見される場合もあれば，警報を伴わずに故障が発見される場合がある[3.2]．つまり，人間のチェックにより機器の異常や故障に気づくことが多いので，異常かどうかを判断するために必要な機器の正常値を当直者は知っていなければならない．ＰＣ版シミュレータのモニター機能は実際の船舶とほぼ同等であり，前項の課題の中で通常運転状態にしたときのデータである圧力や温度を記録することにより，当直業務に関する機材としての役割を果たすようにしている．

3.2.4 故障診断能力向上のための教材

機関システムの運転中にシステムに異常が生じたときに，システムを安全な状態に復帰するための操作を行わなければならない．ＰＣ版シミュレータでインストラクターあるいは学生が自ら故障設定を行いシステムの状態変化を確認することができる．従って，異常状態に陥ったときにどのような操作を行えばシステムが安全な状態に復帰するのか，あるいは故障を未然に防ぐためにはどのような操作を行えば良いのかを学ぶことができる． その際，異常状態を生じさせている故障の原因を見つけてその対応操作を行わなければならない．

ただし，未熟練者である学生にとって故障の原因を推測することは困難である．そ

こで，故障の原因を発見するのを容易にするため，第2章で説明したように故障の原因を提示するための故障診断支援の機能をＰＣ版シミュレータに持たせている．

操作の間違いや故障設定により異常状態が発生した場合，警報としてモニターの計測項目の左端に位置する赤色のマークが点滅して学生に知らせる．その警報を示す赤色のマークにマウスのポインタを移動させてクリックすると，故障の原因が例示される．数多くの故障原因が示されるので，学生はその中か最適な故障原因を選択する．たとえば，ポンプの故障が原因の場合には，ポンプの故障を上位故障としてより下位の故障原因であるインペラの損傷を選択できるシステムとなっている．これらの訓練を通して，熟練者から未熟練者へ伝達されるべき知識を自学自習により獲得することが可能である．

3.3 海事教育訓練手法に関する研究

ＰＣ版シミュレータを使用して海事教育訓練を実施するにあたり，効果的な教育機材としての役割を高めるには，その特徴を活かした教育訓練手法の開発や教育効果の向上が求められている．そのため，学生に対して効果的な教育訓練を実施する目的でＰＣ版シミュレータに適した教育手法の開発を行った．

その目的を達成するため，同型のＰＣ版シミュレータを設置している海技大学校とベトナム海事大学（Vietnam Maritime University：以下，ＶＩＭＡＲＵ）が協力し，教育訓練の実践に基づいた教育手法について調査研究を行った[3.3][3.4]．なお，ＰＣ版シミュレータは海技大学校に20セット設置されていて,ほぼ同じ仕様のシミュレータがＪＩＣＡ（日本国際協力事業団）のプロジェクトによりベトナム海事大学に24セット設置されている．

第一段階として，学習方法が異なる場合の学習効果を明らかにするため，３種類の個別化学習を試験的に行い，目標達成度，操作エラー及びつまずきについて調査を行った．個別化学習を適用したのは，ＰＣ版シミュレータはフルミッションと比較して個人の能力や進度に従って教育を行う個別学習に適しているためであった．個別化教授システムはF.S.Keller により1960年代に提唱されているが[3.5]，ここでは調査結果に基づいて学習効果及び学習状況を考察するとともにＰＣ版シミュレータを用いた効果的な個別化教授システム構築に向けて今後の課題を示す．

3.3.1 知識を獲得する学習方法による影響

(1) 知識を獲得する学習方法の種類

機関室内の機器を安全かつスムーズに運転操作するためには，運転操作手順に関する知識すなわち手続き的知識が必要であり，ＰＣ版シミュレータの操作においても同様の知識が必要である．これらの知識を獲得する個別学習法には発見学習法及び教示学習法がある[3.6]．

発見学習法は既に獲得して定着している知識に基づいて新しい知識を試行錯誤的な操作を行うことにより獲得する学習過程である[3.7]．つまり，画面上に実現される機器に対する操作を通じて，機器の操作方法を発見的に獲得する学習であり，プラントなどのシミュレータ訓練に適用された例がある[3.8]．これに対して，教示学習法は外部から直接的に知識を伝達する方法であり，インストラクターから直接知識を教示される方法とテキストを利用して知識を獲得する方法がある．

(2) 学習方法に関する実験

① 実験目的

ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練は能動的学習の要素があるため，インストラクターからの指導に加えて，発見学習法やテキストを利用して知識を獲得する学習方法を併用して実施した．これらの学習法を適用したのは，ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練に個別学習法を適用するのが比較的容易であり，次のような効果が期待できるからである [3.9]．

◎ 個別学習法は個人のペースで学習できるので落ちこぼれが無い．学生の理解度や習熟度の把握が容易である．また，進度に応じた個別指導が容易である．

◎ 個別学習法においてはすべての操作を１人で行わなければならないので，能動的な態度が養われる．

また，e-Learning のような遠隔授業はインストラクターから直接指導が得られない学習環境のため，発見学習法とテキスト利用の学習方法が中心となる．そこで，これら３種類の学習方法が学習効果に与える影響についても検討した．

②　被験者

学生数が多くてさまざまな実験群の編成が容易なためＶＩＭＡＲＵにおいて実験を行った．従って，被験者は，ＶＩＭＡＲＵの機関学部３年生(134 名)の１クラスの学生（47 名）である．

なお，ＶＩＭＡＲＵにおいては，各教科の理解を深めるために，シミュレータを使用した教育訓練がカリキュラムに組み込まれていて，３年生の前期から班編成により全員が実習を行っている．調査を実施した時点で学生は既に３回程度実習を行っており，基本的な操作技術は習得しているものとして実験を行った．

③　実験方法

個別化学習を行う教育目標を補助ボイラの手動運転操作に関する知識獲得とし，具体的な達成目標は，停泊中に何らかの異常で自動運転が不可能になったため，手動運転に切り換えて燃焼を継続させる操作シナリオである．

実験は，被験者の学生(47 名)を発見学習法(18 名)，テキスト利用学習法(14 名)，インストラクター指導学習法(15 名)の３群に分類して実施した．それぞれの学習法の特徴は，発見学習法は学生が教室や練習船における教育訓練により獲得している知識に基づいて試行錯誤的な操作を行いながら操作目標を達成する学習法で，テキスト利用学習法は運転手順が記載されたテキストが学生に与えられた状態で各自がテキストを読んで操作を行う学習法で，最後のインストラクター指導学習法は最初に手動運転の操作方法について約 15 分間インストラクターから操作手順を教示された後に操作を行う学習法である．また，目標達成までの制限時間を 15 分として，時間内に操作を終了しなければならないという意識を持たせることにより，焦りを感じる操作状況に学生を置いた.操作を行う機関室内の機器を示すグラフィクを図 3.1(a)及び図 3.1 (b)に示す.

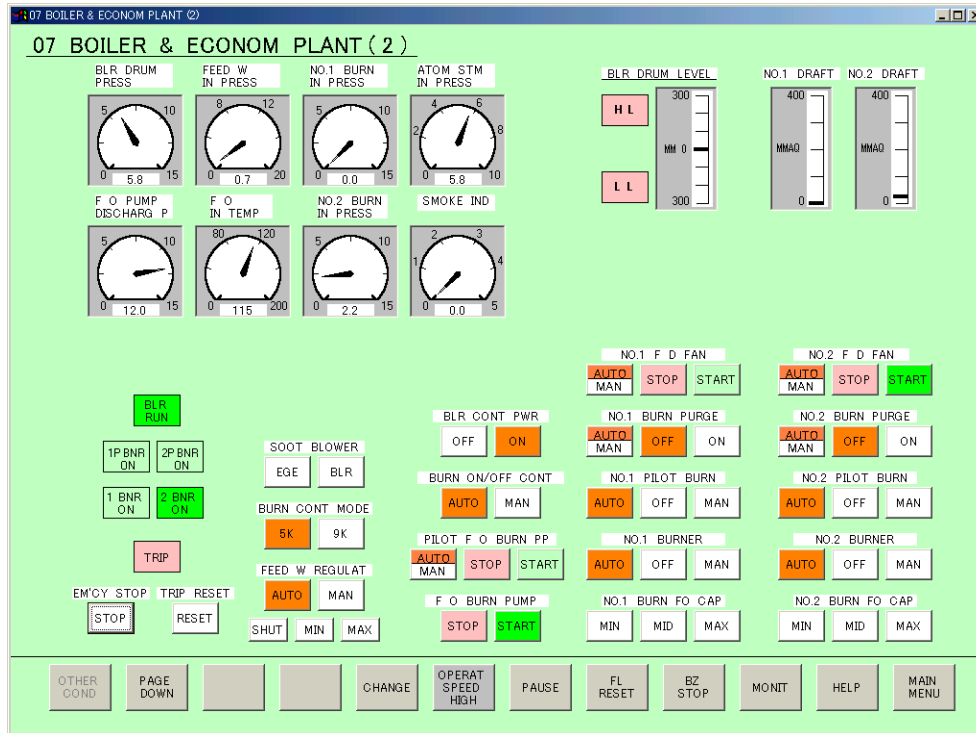



図 3. 1(a)　補助ボイラ及び排ガスエコノマイザの制御盤

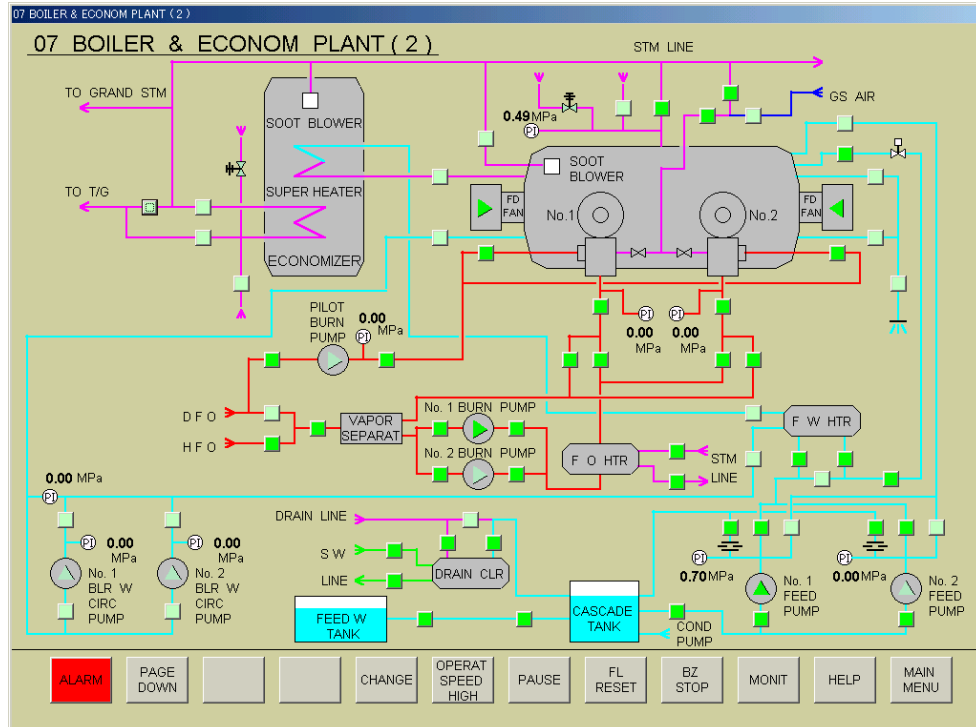



図 3. 1(b)　補助ボイラ及び排ガスエコノマイザの操作画面

(3) 実験結果と考察

①　操作シナリオ達成率

補助ボイラが手動運転に切り替わり，順調に燃焼が継続されていてシステムに異常が無い状態を操作シナリオが達成されたものとした．主バーナーは点火されたが燃焼が継続できない場合やポンプの停止を忘れた状態を部分達成とした．それぞれの学習方法における達成率を表 3.1 に示す.

表 3.1　学習法別シナリオ達成率

	達成	部分達成	達成不能
発見学習法 （１８名）	０名 （０ %）	１名 （６%）	１７名 (94 %）
テキスト利用学習法 （１４名）	０名 （０ %）	２名 (14.3%）	１２名 (85.7%）
インストラクター指導学習法 （１５名）	３名 (20 %）	８名 (53.3%）	４名 (26.7%）

発見学習法では全員が目標のシナリオを達成できなかったことから，未熟練者である被験者が現在の知識に基づいた操作によりボイラの手動運転という操作シナリオを達成することが不可能であることを示している．これは，補助ボイラのスムーズな機器の操作に必要な知識不足や操作後のシステム変化のイメージが構築できないことが主因と推測できる．この学習法による知識獲得では運転操作が困難なので，必要な知識を外部から与える，いわゆる学習支援が必要なことを示している.

テキスト利用学習法においても全員が目標のシナリオが達成できなかった．従って，被験者のような未熟練者に対するテキストの作成にあたっては，操作手順の記述だけでは不十分であり，熟練者が持っている操作を行うタイミングや判断基準のような知識を与えることも必要な結果となっている．また，アラーム発生状態からの復帰が難しく，間違った操作を行った時の対応策もテキストに求められていることを示している.

インストラクター指導学習法では，操作に行きづまる割合は低く，ある程度の学習効果が得られているが，部分達成の学生が多く，操作に関する知識が短期記憶にとどまっていて時間の経過とともに操作エラーが増加する傾向がある．従って，知識が長期記憶として記憶されて意図的な操作が行われるには，教育訓練回数の増加が必要で

ある．また，達成できない学生の原因は最初の段階でのつまずきであり，インストラクターの指導は特に教育訓練の初期段階で必要であることを示している．

②　操作エラー

知識を獲得する段階でさまざまな操作エラーを生じるが，エラーから学ぶことも大切であるので，学習方法とエラーの関係を明らかにするため学生のＰＣに蓄積されている操作履歴を収集して操作エラーのデータとした．各学生の操作履歴はそれぞれの学生のパソコンに表 3.2 に示すような History Data として記録されるので，インストラクターはそれらの操作データを ＬＡＮの機能を用いてインストラクターのパソコンに収集することができる．

表 3.2　操作履歴（History Data）の一部

時　間 (時:分:秒)	操 作 機 器	状　　態
9:20:52	PILOT BURN PUMP	MANUAL
9:21:52	NO.1 F D FAN	ABNORMAL STOP
9:21:52	NO.2 F D FAN	ABNORMAL STOP
9:21:52	BOILER CONTROL POWER	OFF
9:21:55	BOILER CONTROL POWER	ON
9:23:00	No.2 BURN PUMP	RUN
9:23:09	NO.1 F D FAN	RUN
9:23:10	NO.2 F D FAN	RUN
9:24:33	PILOT BURN PUMP	RUN
9:25:00	PILOT BURN PUMP	STOP
9:26:43	PILOT BURN PUMP	RUN

これらの操作データについて，エラーの重要度と頻度に着目して整理を行った．つまり，システムに装備されている安全装置が作動したエラーやシステム全体に影響を与えるエラーを重大操作エラーとし，標準的な操作手順から逸脱した操作を行った場合のエラーを操作エラーとした．

それぞれの学習方法において，表 3.3 に示す件数のエラーが発生している．発見学習法では，試行錯誤的な操作が行われているため，操作エラーより重大操作エラーの発生の方が多い結果となっている．インストラクター指導学習法では，重大エラーの発生が非常に少なく，ある程度の操作手順の知識が獲得されていると推測される．テ

キスト利用学習法では両者の中間の発生件数となっている．

表 3.3　重大操作エラー及び操作エラー

学習方法(人数)	重大操作エラー		操作エラー	
	合計件数	平均件数	合計件数	平均件数
発見学習法 （１８名）	２２件	1.20 件/人	１３件	0.72 件/人
テキスト利用学習法 （１４名）	１０件	0.71 件/人	１８件	1.28 件/人
インストラクター指導学習法 （１５名）	２件	0.13 件/人	２０件	1.33 件/人

学習方法の違いにより，知識獲得の過程で異なったタイプの操作エラーが発生し，教育効果に影響を与えている．被験者のエラーは実行時のエラーと計画時のエラーに分類できるが，未熟練者である被験者の場合は，意図を持って操作計画を構築したのかどうかの判断が困難なので，簡単に観測できる振る舞いによるエラー形式[3.10]という表面的なレベルについて分類した．表 3.4 に重大操作エラーの内容及び表 3.5 に操作エラーの内容を示す．エラーの内容について，「省略」は必要な操作を省略するなどのエラー，「余分なことをする」は不必要なポンプを起動するなどのエラー，「繰り返し」は警報等によりエラーに気付いても同じ操作を繰り返すなどのエラー，「順序の間違い」決められた順序と異なった順序で操作するなどのエラーである．

表 3.4　重大操作エラーの内容

学習方法（件数）	省略	余分なことをする	繰り返し	順序の間違い
発見学習法　（２２件）	１件	１０件	０件	１１件
テキスト利用学習法　（１０件）	０件	３件	０件	７件
インストラクター指導学習法（２件）	０件	１件	０件	１件

発見学習法では順序の間違いが重大操作エラーに直結していて，操作手順の知識の獲得が大切なことを示している．また，主蒸気弁の閉鎖などのシステムに大きな影響を与える余分な操作を無意識に行う状況が見られ，半数以上の８名が複数の重大エラ

ーを生じさせている．これは，本来の認知プロセスで計画的に行われる行動ルートをバイパスした操作を行っていると考えられる[3.11]．操作エラーのタイプでは，余分なことをするエラー，省略するエラー，間違いに気付くまで同じ操作を繰り返すエラーが多い結果となっている．

表 3.5　操作エラーの内容

学習方法（件数）	省略	余分なことをする	繰り返し	順序の間違い
発見学習法　（１３）	１件	７件	５件	０件
テキスト利用学習法　（１８）	１件	１０件	５件	２件
インストラクター指導学習法（２０）	１４件	２件	３件	１件

テキスト利用学習法ではテキストに従って操作を行うことにより重大操作エラーを起こす割合は発見学習法と比較して少なくなっているが，エラーのタイプは同様の傾向である．操作エラーについても発見学習法と同様であるが，確認作業によるフィードバックあるいはテキストの情報不足による余分な操作が多く見られる．また，異常状態から正常な状態に復帰する操作においてエラーを発生することも多く，新しい状況に対応できる知識の獲得は行われていないと考えられる．このように両者は，混乱状態から抜け出すための支援，つまりインストラクターの指導が必要な状況に陥る被験者が多い結果となっている．

インストラクター指導学習法では，重大エラーは激減し，ある程度の意図的な操作が行われているが，操作エラーは最大となっている．これは，インストラクターの操作を観察して覚えた操作手順を思い出しながら操作を行っているため他の学習方法より重大操作エラーが少ないが，記憶を再現する際に多数のエラーを起こしていることが原因と考えられる．つまり，インストラクターの操作を観察した直後は目標達成に向けて順調に操作が行われているが，機器の停止操作を忘れるなど省略エラーが数多く発生している．この場合，最初に機器を起動したことは記憶されているが，短期記憶のためインストラクターが停止した機器を思い出せないために停止操作がスキップされたもので短期記憶の欠落と推測される．メンタルモデルを構築して計画的に操作を行うためには．教育訓練回数増加の必要性を示す結果となっている．

3.3.2 学習方法の適用順序に関する実験

(1) 適用順序に関する実験

① 実験目的

発見学習法を用いて実際にＰＣ版シミュレータの教育訓練を実施した場合，手続き的知識の習得に時間がかかり，インストラクターのサポートを必要とする状況に陥る確率が高い．しかし，前項の実験により自ら学習するという能動的な学習態度の長所も確認できる．特に，意欲や継続的な学習態度における評価が高い．ただし，この学習方法だけの適用は調査結果から明らかなように非効率であることを示す結果であった．

そのため，発見学習法とインストラクターからの知識教示による学習法を組み合わせて教育訓練を行うのが効果的であると考えられる．その適用順序については発見学習の後にインストラクターの指導を行う順序とその逆の適用順序があるので，発見学習法とインストラクターによる指導学習法を組み合わせて教育訓練を実施した場合，どのような学習効果が得られるのか，また学習順序が学習効果にどのような影響を与えるのか実験を行った．

② 被験者

実験を行った被験者は,前項の実験と同様にＶＩＭＡＲＵの機関学部３年生(134名）の別の１クラスである 36 名である．本実験を前項の実験とほぼ同時期に実施したため，ＰＣ版シミュレータの実習は前項の実験の被験者と同様に３回程度体験しており，基本的な操作技術は同様に習得しているものとして実験を行った．実験は通常の学習環境を保つため，実験のためのクラスの分割は行わなかったのでアンバランスな人数となった．

ＶＩＭＡＲＵにおける１時限が 45 分であることを考慮し，各学習法の体験時間を 15 分ずつとし，その後教育効果の確認のための操作を行い， 45 分間で１回の実験データを収集した．なお,最後に実施する操作確認のための運転操作は15分を制限時間とし，終了時間及びエラーをインストラクターが確認した．獲得する知識は冷態状態の補助ボイラの手動運転操作手順なので，ある程度総合的に補助ボイラのシステムを理解していないとできない操作のため，前項に比べるとその難易度は高くなっている．

実験は 36 名を２群に分割し，最初に発見学習法を行った後に教示学習法[インストラクターによる指導]を行う学生群が 20 名，そして最初に教示学習法を行った後に発見学習法を行う学生群が 16 名である．各群の人数については欠席者の人数によりアンバランスとなったが，調整は行わずに通常のグループ分けで実施した．

(2) 実験結果

実験結果については，前項の学習方法の差異に関する調査と同様に操作目標の達成率と達成時間，及びエラーについて調査結果をまとめた．なお，目標達成の有無及び達成時間についてはインストラクターが確認を行った．

①　操作目標達成率

通常は補助ボイラの運転操作は自動運転であるが，入渠時等では手動運転が行われる．これらの操作を未熟練者が実際のシステムで行うことは危険である．そこで，補助ボイラの手動運転操作手順の知識獲得を操作目標とし，冷態起動から補助ボイラが規定の圧力まで上昇した状態でシステムに異常が無い状態の場合のみ操作目標が達成されたものとした．警報発生や機器の操作に誤りがある場合を部分達成とした．それぞれの学習法における達成率を表 3.6 に示す．

学習方法の適用順序により表 3.6 に示すように，異なった結果となっている．発見学習法による学習を先行して行った場合の方が目標を達成した学生の数が多いが，達成不能の学生の割合も多い結果となっている．個別学習において意欲的に取り組んだ学生とそうでない学生の差が生じるという個別学習の特徴を示している．従って，インストラクターは間違いを指摘して指導するとともに，学習意欲を高めるための指導も必要であることを示す結果となっている．

表 3.6　達成率（学習法の組み合わせ効果）

	目標達成	部分達成	達成不能
発見学習法・教示学習法 （20 名）	６名 (30.0 %)	７名 (35.0 %)	７名 (35.0 %)
教示学習法・発見学習法 （16 名）	２名 (12.5 %)	１３名 (81.3 %)	１名 (6.2 %)

一方，教示学習法を先行して実施したグループの達成率は低いが，達成不能の学生

は非常に少ない結果である．部分達成にとどまっているのは，省略や余分な操作を行うエラーが多いことによる．

②　達成時間

操作目標を達成した時間を一部達成のグループを含めて，その平均時間を表 3.7 に示す．いずれの場合も教示学習を先行した方が平均時間は短くなっている．このことは，操作に当たり各学生がある程度の意図を持って操作を行っていると推測できる．また，部分達成の平均時間が長くなっていることから，操作間違いや知識不足により操作に時間がかかったために目標を達成できなかったことを示していた. このことは，評価に当たっては達成時間が有効なことを示している．なお，下段には最大値と最小値を示しているが，その分布については学習法の適用順序の影響は表れていない．

表 3.7　操作目標の平均達成時間

	達　　成	部 分 達 成
発見学習法・教示学習法 （20 名）	6.0 分 （最小値 3 分, 最大値 8 分）	9.6 分 （最小値 3 分, 最大値 13 分）
教示学習法・発見学習法 （16 名）	5.0 分 （最小値 5 分, 最大値 5 分）	6.9 分 （最小値 3 分, 最大値 14 分）

このように，発見学習法を最初に行った場合は次の教示学習法で誤った記憶が修正できるため，操作目標を達成する割合は高い．しかし，発見学習法において知識獲得が十分にできない学生も多いため，操作シナリオを達成できない割合も高い．また，教示学習法を最初に行った場合は操作に関する知識が最初の学習法で獲得されやすいので，操作目標を達成できない学生の割合は非常に少なかった．しかし，エラーの修正ができないため，達成率が低い結果となっている．

3.3.3 教育訓練における学習集団の差異による影響

(1)　教育訓練を実施する学習集団の規模

ＰＣ版シミュレータは，多人数はもちろんのこと自学自習のような個別学習に対する教育訓練もできるという特徴を有している．多人数に対する教育においては，適当な学習集団の規模に分割することにより教育効果が向上することが報告されているの

で[3.10]，簡単なトラブルやエラーについては学生相互に協力して解決できるペア学習やグループ学習など，異なった学習集団による教育訓練をＰＣ版シミュレータにおいて実施した場合の教育効果に関して実験を行った．

(2)学習集団に関する実験

①　目的

ＰＣ版シミュレータの教育訓練はさまざまな学習集団の規模で実施できるが，実践した場合の問題点および教育効果の差異を明らかにすることを目的に実験を行った．また，集団には２人から大規模の集団まであるがシステムの運用にかかわる数人程度の小集団が問題にされることが多いので[3.11]，数人規模の学習集団で実験を実施した．

②　被験者

操作目標がより高度な主機の試運転のため，既にこの実習を行っているＶＩＭＡＲＵの機関学部４年生が被験者である．これらの学生を，個別学習 18 名（ＰC18 台)，ペア学習 16 名（ＰC16 台)，グループ学習 32 名（ＰC16 台)の３群に分割した．なお，グループ学習は，シミュレータ実習室の机の配列を考慮して，ＰＣ２台つまり４名を１グループとした．

③　実験方法

教育目標は主機関の出港準備作業に関する操作手順知識の獲得とし，獲得すべき知識は停泊状態から暖機作業そして試運転まで，約 60 の連続した運転操作手順である．これらの操作を間違いなく行うことを操作目標に定め，それぞれの学習集団を実験群として教育訓練を行った．なお，制限時間は 30 分とした．また，学生のエラーや達成率を求めるために各ＰＣに蓄積される操作履歴をデータとして収集した．さらに，学習集団における問題点を明らかにするため，実験後にアンケート調査を行った．

(3)　実験結果および考察

①　操作目標達成率

学習集団別のシナリオ達成率を表 3.8 に示す．操作に行きづまった場合や操作の方法がわからない場合にインストラクターに指導を求めることを許可したことやシナリオ達成が明確なことから，部分達成の項目は設けずに達成と達成不能に分類した．

達成シナリオは主機の暖機と試運転の実施であり，達成できた学生は，個別学習４名，ペア学習８名（４ペア），及びグループ学習８名（２グループ）である．なお，グループ学習において達成者が少なかったのは，話し合いながら操作を進めていくため，時間不足から最終目標に達しなかったもので，学習時間を考慮する必要性を示している．

表 3.8　学習集団別シナリオ達成率

	達成	達成不能
個別学習（１８名）	４名 (22.2 %)	１４名 (77.8 %)
ペア学習 （１６名：８ペア）	８名（４ペア） (50.0 %)	８名（４ペア） (50.0 %)
グループ学習 （３２名：１６台）	８名（４台） (25.0 %)	２４名（１２台） (75.0 %)

このように，達成率は個別学習とグループ学習が低く，ペア学習は高い結果となった．今回の調査では，運転操作という手続き的知識に基づいて目標の操作を完了させるという条件の場合，ペア学習が個別学習やグループ学習よりシナリオ達成率が高い結果となっている．また，被験者相互に協力できる学習形態の方がより教育効果が高いという結果となり，協力関係が構築されていることを示している．

②　エラーやつまずいた時の修正方法

操作を間違った時の修正方法に関するアンケートを全員に対して行い，その結果を図 3.2 に示す．各方法については被験者に対する割合で表示するが，複数回答としたため，合計は 100%を超える結果となっている．事前の予想と異なり，グループ学習においてインストラクターの指導による割合が最も高い結果となっている．

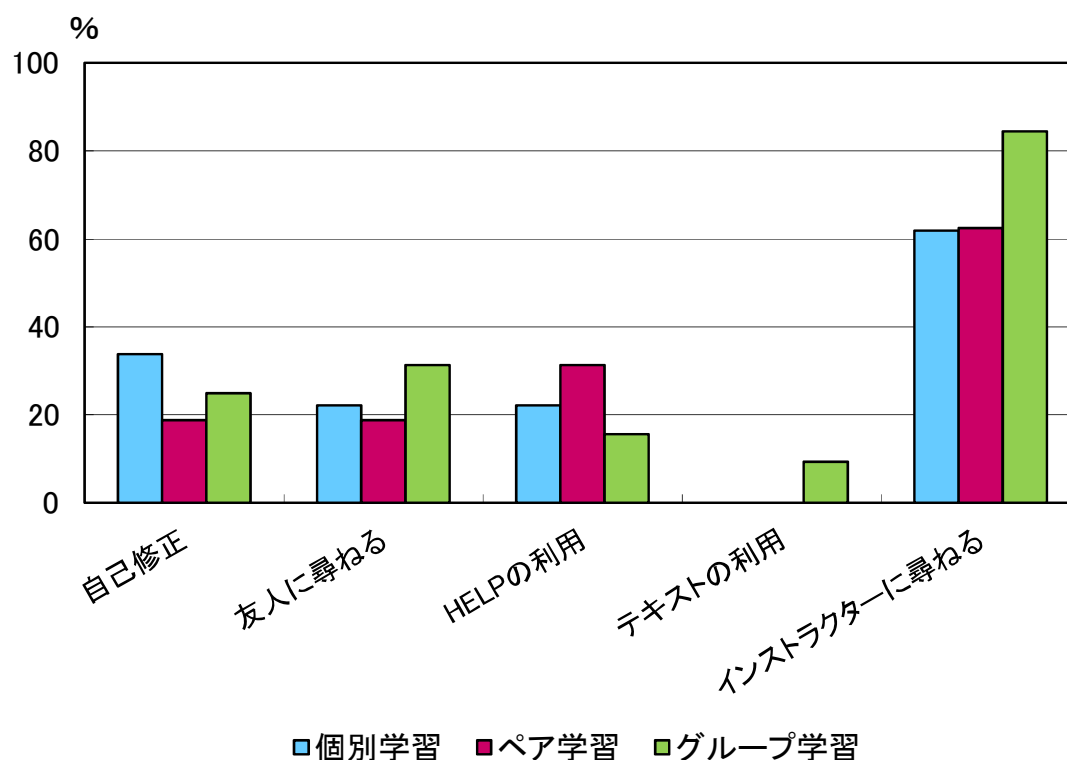



図 3.2　間違った時の修正方法

被験者自身が気付いて自ら修正する自己修正の割合が個別学習で最大であり，グループ学習，ペア学習の順となっている．グループ学習でも簡単な問題については自己修正を行っていることを示している．

友人に尋ねるのはグループ学習が最も高く，個別学習においても近くの友人に尋ねていて，個別学習の環境においても一部ペア学習の要素が出てくることを示している．

学習支援システムとして組み込まれているプラントの操作手順を表示するＨＥＬＰ機能の利用については大きな差は生じていないが，グループ学習で友人に尋ねる割合やテキストを利用する割合が高いためにＨＥＬＰの機能を利用する割合が低下していると考えられる．

テキストの利用に関してはいずれの学習方法も低い結果であるが，操作の途中では簡単に情報が得られるインストラクターに質問するなどの方法が選択されたものと考えられる．また，ＨＥＬＰ機能には運転操作に関する学習支援が含まれているため，画面上の操作で情報が獲得できるＨＥＬＰの方が利用されていることを示していて，学習支援を行う場合にはテキストよりもＨＥＬＰの操作画面を利用した方が有効であ

ると考えられる.

インストラクターに尋ねる割合はグループ学習が最大となっているが，グループにおいて意見の統一ができなくて最後にインストラクターに尋ねて判断したものと推測できる．このように，学生が自ら学ぼうとする意欲を利用した能動的な学習状況においてもインストラクターの役割が非常に重要である．このことは，遠隔学習の場合においても，学習モチベーションを高めるためにはインストラクターとの連携が必要であること[3.12]を示している.

③　操作エラー

エラーの件数やエラーの程度を表 3.9 に示す．被験者一人あたりの平均エラー件数や操作エラーにより警報が発生した件数はグループ学習が最小となり，協力して操作する効果が現れている．ただし，システムに影響を与える重大エラーについては学習集団の差異による明確な差は生じていない.

表 3.9　操作エラーの平均件数等

	操作エラーの件数 (平均値)	警報の件数 (平均値)	重大エラーの件数 (平均値)
個別学習	177 件（9.8 件/人）	92 件(5.1 件/人)	29 件(1.6 件/人)
ペア学習	139 件（8.6 件/人）	64 件(4.0 件/人)	29 件(1.8 件/人)
グループ学習	125 件（7.8 件/人）	54 件(3.4 件/人)	26 件(1.6 件/人)

また，各学習集団とエラーの内容についての結果は表 3.10 に示す通りであるが，各学習集団とも「操作を省略する」及び「余分な操作を行う」エラーの割合が高く，学習集団の違いによる影響は少ない．これらのエラーは，熟練者が持っている運転操作に関する基本的知識だけでなくシステムに関する概念的知識の欠如によるものと考えられる．従って，これらのエラーは未熟練者である被験者が知識を獲得していく過程で犯すエラーであり，経験を積むことにより操作エラーが減少する事が期待できる．従って，教育訓練においてこれらの知識を習得するためには効果的な指導並びに訓練回数の増加によるエラーの減少を検討する必要性を示している.

表 3.10　操作エラーの内容

	個別学習	ペア学習	グループ
操作を忘れる	15 件(8.5%)	12 件(8.6%)	14 件(11.2%)
操作を省略する	48 件(27.1%)	50 件(36.0%)	30 件(24.0%)
余分な操作を行う	60 件(33.9%)	31 件(22.3%)	38 件(30.4%)
操作の間違い	9 件(5.1%)	5 件(3.6%)	9 件(7.2%)
操作順序の間違い	16 件(9.0%)	10 件(7.2%)	12 件(9.6%)
操作を繰り返す	14 件(7.9%)	6 件(4.3%)	5 件(4.0%)
操作時期の間違い	13 件(7.4%)	14 件(10.1%)	13 件(10.4%)
不十分な操作	2 件(1.1%)	11 件(7.9%)	4 件(3.2%)
合　　計	177 件 (100%)	139 件 (100%)	125 件 (100%)

3.4　自学自習に使用するテキストの改善

ＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練においては，操作目標を達成するための操作や課題に基づいて学生が自分のペースで操作手順などを学び，インストラクターが間違いの修正に必要な指導や課題達成の確認を行なうという個別学習法的な手法を用いている．従って，学生が使用するテキストは教育効果の向上に重要な役割を果たしている．つまり，学生は機関システムの操作手順が記述されているテキストを参考に操作を行い，操作手順に関する知識獲得を行っている．

しかしながら，最終評価の段階においても操作エラーが発生しており，テキストから正しい知識を獲得することができなかったことやテキストが十分に活用されていないことがその一因として考えられる．そこで, 現在使用しているテキストの改善に着手することとし，その第一段階としてアンケート調査並びに操作時の振る舞いから改善すべき事項に関して検討を行なった．

3.4.1　アンケート調査からのテキストの改善

(1)　アンケート調査及び結果

アンケートはシミュレータを用いた授業を受講している1年生12名に対して行なっ

た．調査項目はマニュアルの利用，理解，形式，使い勝手，効用に関する 16 項目と自由記述とした．アンケート調査の集計結果を次に示す．

Ⅰ　マニュアルの利用

①　マニュアルの利用頻度

1.　毎回利用した．　２件
2.　ときどき回利用した．　８件
3.　あまり利用しなかった　２件
4.　全く利用しなかった．　０件

②　マニュアルを利用した理由（複数回答可）

1.　正しい操作手順を確認するために利用した．　５件
2.　操作手順が分からなくなったときに利用した．　７件
3.　エラーや警報が発生したときに利用した．　２件
4.　その他　０件

Ⅱ　マニュアルの理解

①　機器の名称

1.　理解できない機器の名前が非常に多かった．　１件
2.　理解できない機器の名前がいくつかあった．　１０件
3.　理解できない機器の名前は無かった．　１件
4.　その他　０件

②　バルブの名称

1.　理解できないバルブの名前が非常に多かった．　０件
2.　理解できないバルブの名前がいくつかあった．　１１件
3.　理解できないバルブの名前は無かった．　１件
4.　その他　０件

③　操作方法

1.　理解できない操作方法が非常に多かった．　３件
2.　理解できない操作方法がいくつかあった．　８件
3.　理解できない操作方法は無かった．　１件

4. その他　０件

④　機器やバルブの位置

1. 図が無くても，機器やバルブの位置は全て分かる.　０件
2. 図が無くても，機器やバルブの位置はほとんど分かる.　５件
3. 図が無いので機器やバルブの位置の分からないものが少しある.　７件

⑤　マニュアルのわかりやすさ

1. マニュアルは，非常にわかりやすかった.　０件
2. マニュアルは，わかりやすかった.　６件
3. マニュアルは，わかりにくかった.　６件
4. マニュアルは，非常にわかりにくかった.　０件

Ⅲ　マニュアルの形式

①　文章の長さ

1. 各項目の文章は非常に長い.　０件
2. 各項目の文章は長い.　１件
3. 各項目の文章は適当な長さである.　１１件
4. 各項目の文章は短い.　０件
5. 各項目の文章は非常に短い.　０件

②　文章と図の割合

1. 文章だけでの操作マニュアルが良い.　０件
2. 図よりも文章の方が多い操作マニュアルが良い.　２件
3. 図と文章が半分半分程度の操作マニュアルが良い.　７件
4. 図が多い操作マニュアルが良い.　３件
5. どちらともいえない　０件

③　内容や文章の一貫性

1. 内容や文章に一貫性が十分にある.　１１件
2. 内容や文章に一貫性がない.　１件
3. 内容や文章がばらばらであり，非常に一貫性が無い.　０件

④　カラー化

1. 文章の重要な箇所や全ての図をカラーにする.　１件

2. 文章の重要な箇所や重要な図をカラーにする.　４件

3. 文章は白黒のままで，図だけカラーにして欲しい.　３件

4. 図は白黒のままで，文章だけカラーにして欲しい.　０件

5. カラーにする必要が無い.　４件

Ⅳ　使い勝手

①　使いやすさ

1. マニュアルは，非常に使いやすかった.　０件

2. マニュアルは，使いやすかった.　７件

3. マニュアルは，使いにくかった.　５件

4. マニュアルは，非常に使いにくかった.　０件

②　検索機能

1. 操作に必要な箇所をすぐに探すことができた.　０件

2. 操作に必要な箇所を探すのに時間がかかったが探すことができた.　９件

3. 操作に必要な箇所を探すことができなかった.　３件

③　説明事項

1. 操作に必要な説明が非常に詳しい.　０件

2. 操作に必要な説明が詳しい.　１件

3. 操作に必要な説明は適当である.　８件

4. 操作に必要な説明は簡単である.　３件

4. 操作に必要な説明は非常に簡単である.　０件

④　操作マニュアルの順番

1. 実習を行なっている順番が良い.　５件

2. 操作の簡単な機器から，操作の困難な機器の順番が良い.　３件

3. 操作の困難な機器から，操作の簡単な機器の順番が良い.　０件

4. シミュレータのサブシステムの順番が良い.　３件

1. その他（マークなし）　１件

Ⅴ　マニュアルの効用

①　操作マニュアルの効用

1. 非常に役に立った.　０件
2. ある程度役に立った.　１０件
3. あまり役に立たなかった.　１件
4. 全く役に立たなかった.　０件
5. その他（マークなし）　０件

②　操作マニュアルが役に立った理由（複数回数可）

1. 操作に行き詰ったとき，次の操作を知ることができた.　８件
2. 操作の手順を正確に知ることができた.　８件
3. 警報やアラームの原因を知ることができた.　５件
4. 機器を起動する条件を知ることができた.　８件
5. 操作を行なうときの判断基準を知ることができた.　０件
6. その他　０件

③　操作マニュアルの改善して欲しい点を書いてください.（自由記述）

・　日本語の機器名の横にシミュレータ内の英語を書いて欲しい.
・　起動手順をもう少し詳しくして欲しい.
・　文章だけじゃ分かりにくい事もあるので，図を取り入れて欲しいと思った
・　パソコン内と同じ図を使ったものにして欲しい（図と手順を組み合わせると良いと思う）.
・　図による説明が欲しい.　２件
・　マニュアルにある機器の作動スイッチがシミュレータのどこにあるか分からなくて迷うこともあって，図があるとかなり良くなると思う.
・　操作手順だけでなく,操作の説明や理由があればもっと理解しやすいと思う.
・　系統名をもっと見やすくしたほうがわかりやすいと思う.
・　名称が難しい（詳しく書いてあり過ぎる）

以上の結果から，次のようなことが明らかになった．マニュアルはある程度利用されていて，その有効性が示されている．ただし，基本的な事項について，教える側が学生は理解していると考えていても，学生は理解しているとは限らないということも

示している．理解できない操作方法の件数が特に多いので，操作方法についてはより詳細な記述が必要であることが明らとなっている．また，文章の長さは現状の長さが適当であるので，現在の箇条書き方式はそのままで良いことが確認できた．また，マニュアルがわかりにくいあるいは使いにくいと回答した学生が約半数いたので，どのような点がわかりにくいのかあるいは使いにくいのかという問題が今後の課題となっている．

図については現在のテキストは不十分であり，図の挿入とテキストと操作画面のグラフィックの整合性が重要なことが明らかになっているので，必要な箇所についてはカラーの図を挿入する必要性を示していた．また，自由記述についても図に関するものが多く，改善すべき点が示されている．

3.4.2　操作時の振る舞いからのテキストの改善

(1)　操作データの収集

被験者は海技大学校の学生で，主機関の暖機作業から試運転までの一連の操作に関する 51 件のデータを収集した．データの内訳は１年生と２年生の２回のデータを収集できた学生が 18 名計 36 件，1 年生あるいは２年生のデータしか収集できなかった学生が 15 名 15 件であった．

(2)　分析に用いた操作群

収集した操作データは主機の暖機作業から試運転までの一連の操作であるが，分析は主機の暖機作業の操作について行なった．この作業は，マニュアルにおいて，系統ごとに以下に示すような操作群として記述されている．

① 潤滑油系統の作業（ＬＯ系統の弁を開，主ＬＯポンプ起動，カム軸ＬＯポンプ起動）
② 冷却清水系統の作業（冷却清水系統の弁を開ける，冷却清水ポンプ起動，加熱開始）
③ ターニング作業（インジケータコックを開ける，ターニングギヤの嵌合確認，ターニング開始，シリンダ注油器のプライミング）

(3)　操作群の数

ＰＣ版シミュレータの操作において，①潤滑油系統の作業，②冷却清水系統の作業，③ターニング作業の順番に行なうのを標準的な操作としている[3.14]（②①③の順番と

しているシステムもある[3.15])．

実際にどのような操作が行なわれたのか，各操作群内に含まれている操作だけを行なっている操作を一群の操作として，ターニングが開始されるまでいくつの操作群で目的の操作を終了したのか集計を行なった．その結果を表 3.13 に示す．

マニュアル通りの操作を行なえば３群の操作で完了する．しかし，他の系統や他の画面の操作及び機器の運転を余分に行なったことにより４群の操作となっている者が最も多く，約半数に達している．６群以上の操作を行なったものも 11 件あり，操作の意図が理解できない場合が多いと考える．

表 3.13　操作群の数とその件数

操作群の数及び操作順序の一例		件 数
３群	①➩②➩③，②➩①➩③	９件
４群	①➩③➩②➩③　等	２５件
５群	③➩①➩②➩①➩③　等	６件
６群以上	①➩③➩②➩①➩②➩③　等	１１件

(4) 操作群の数とエラーとの関係

操作群の数とエラーとの関係を表 3.14 に示す.操作群が増加するに従って操作を忘れる割合が増加する傾向を示している．つまり，それぞれの操作群における操作を完全に行なってから次の操作群の操作に移る方が，操作を忘れる確率が低くなる結果となっている．ただし，アラームに関しては操作群の数の増加による影響は明らかでない．

表 3.14　操作群の数とエラーとの関係

	件数	操作を忘れる件数	アラームの件数
操作群数３	9	０件(0.00%)	３件(33.3%)
操作群数４	２５	１１件(44.0%)	８件(32.0%)
操作群数５	6	２件(33.3%)	２件(33.0%)
操作群数６以上	１１	７件(63.6%)	０件(0.00%)

(5) 操作群の操作順序とエラーとの関係

操作群の操作順序とエラーとの関係を表 3.15 に示す.操作群①の操作か操作群②の操作を最初に行なう場合は一般的な操作であり，操作を忘れる割合に大きな違いは見られない．しかし，最初に操作群③の操作を行なう場合，操作を忘れる割合が非常に高くなっている．

最初に③の系統を操作する場合，画面中央付近にあるシリンダタンクの出口弁やインジケータを操作する事例が数多く見られた．目の前にあるものを無意識に操作するという状況で，マニュアルに基づいた系列化された操作が行なわれていないことを示す結果となっている[3.16]．

アラームについても,最初に③の操作をする場合の方がアラーム発生の割合が高い.アラームは，操作群の数よりも操作の順序の間違いによる影響の方が大きいと推測される．

表 3.15　操作群の操作順序とエラーとの関係

	件数	操作を忘れる件数	アラームの件数
最初に①群の操作	２４	7 件(29.2%)	7 件(29.2%)
最初に②群の操作	１３	6 件(35.3%)	1 件(5.9%)
最初に③群の操作	１４	7 件(70.0%)	5 件(50.0%)

3.5 まとめ

海事教育分野に新たに出現したＰＣ版シミュレータを使用して効果的に教育訓練を実施するにはハードの開発だけでは不十分であり,ソフトの面での開発も重要である.そこで，ＰＣ版シミュレータを使用して教育訓練を実施するために必要な教育教材を開発するとともに，教育手法の開発について研究を実施した．

最初にＰＣ版シミュレータで実施できる教育訓練を明確にし，それぞれの実施環境で必要な教材を作成した．ハードに組み込まれている学習支援の機能と新たに開発した教材との連携を行うことにより効果的な教育訓練が実施できることを示すことができた．

次に，どのような学習方法を用いて教育訓練を実施すれば効果的に学習できるのか，実際に個別学習において３種類の学習方法を適用し，学習方法ごとに知識獲得状況に関する教育成果や学生の振る舞いに関するデータを収集して考察を行った．また，学習方法を組み合わせた場合の教育成果に関して同様にデータを収集し考察を行うとともに，操作エラーの原因となっているマニュアルの改善についても研究を行った．

このように，ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練において，効果的な学習方法とその教育効果に関して総合的な研究を実施したことにより，従来の研究で得られなかった以下の知見が得られ，システム的観点からの教育訓練の実施が可能となった．

(1) 学習方法についての研究では，その適用に当たってはインストラクターの役割が非常に重要であり，学習計画の段階で考慮すべき事項を明らかにすることができた．

(2) 学生が自ら学ぶ状況において，どのようなつまずきが発生しているのか明らかになったので，インストラクターの行うべき指導を明らかにすることができた．

(3) 教育訓練の学習方法として個別学習法の適用が有効なことを示すことができた．さらなる改善に必要な，個別学習法を適用する場合の問題点を明らかにすることができた．

(4) 個別学習をおこなう場合マニュアルが非常に重要であるが，現状のマニュアル使用で操作エラーが発生している．そのためマニュアル改善を目的に調査を行い，改善すべき点を示すことができた．

(5) マニュアルの改善にあたっては，使いやすさを念頭に置いて記述する点と効果的な図を挿入しなければならないことが明らかになった．

これらの研究成果から，ＰＣ版シミュレータを使用して効果的な教育訓練を実施する場合に解決すべき問題点およびその解決策を明らかにすることができた．これらは，今後のシミュレータ教育に役立つものと考えられる．

［第３章参考文献］

［3.1］　日本教育工学会編，教育工学事典，(2000)，364,実教出版

［3.2］　山田・大橋・石田，次世代ＮＫ－ＭＯ船の調査・研究，日本舶用機関学会誌 19巻4号，P330-340，(1984)

［3.3］　K.Ikenishi etc.，The Instructional Design and Its Evaluation Using Engine Room Simulator based on ＰＣ, IMLA13, P164-171，(2004)，

［3.4］　K.Ikenishi etc., Study on the learning method suitable for the Engine Room Simulator based on Personal Computer, ICERS6，P104-111，(2004)

［3.5］　向後千春：個別化教授システム(PSI)の大学授業への適用，コンピュータ&エデュケーション，Vol.7，P117-122，(1999)

［3.6］　日本教育工学会編，教育工学事典，P433，実教出版，(2000)

［3.7］　波多野誼余夫，教授・学習過程論，P95，日本放送出版協会，(2002)

［3.8］　北島宗雄,ディスプレイベースのHCIの認知モデル－適応専門知識の理論にむけて－，人工知能学会誌Vol.11-2，P321-329，(1996)

［3.9］　日本教育工学会編，教育工学事典，P204，実教出版，(2000)

［3.10］James Reason（林　善男監訳），Human Error, P12，海文堂，(1994)

［3.11］古田一雄，プロセス認知工学，P83，海文堂，(1998)

［3.12］植野真臣，大学－高専におけるｅ－ラーニングによる授業実践，日本教育工学会論文誌，Vol.27-4，P417-426，(2004-3)

［3.13］西之園晴夫，知識創造科目開発における教育技術の研究方法，日本教育工学会論文誌，Vol.27-1，P37-47，(2003-6)，

［3.14］三井造船株式会社　ディーゼル事業部編，主機関取扱説明書，(2000)

［3.15］独立行政法人　航海訓練所編，練習船実習用教科参考資料(機関科編)，(2001)

［3.16］エリック・ホルナゲル著，古田一雄監訳，認知システム工学，P72，海文堂，(1996)

第４章　シミュレータの操作エラーに関する研究

4.1 概要

ＰＣ版機関室シミュレータ(以下，ＰＣ版シミュレータ)を用いた教育訓練では，インストラクターの役割が非常に重要であり，学生のシミュレータの操作の間違いを修正したり，操作マニュアルの補足説明を行ったりと数多くの役割をこなさなければならない.

しかしながら，インストラクターの指導にもかかわらず間違った操作手順の獲得等の要因で，最終評価の段階においても操作エラーが発生している．最終段階での操作エラーは修正に必要な時間的な余裕が無いため，実際の現場において間違った操作を行う危険性がある．従って，早い段階での操作エラーの発見及びその指導が必要となっている.

そこで，訓練途中における効果的な指導を実施するために必要な情報を獲得することを目的に，学生がＰＣ版シミュレータを操作する際にどのような操作エラーをしているのかその特徴を明らかにする研究を行った.

本章では最初に，操作時にどのようなエラーを行っているのかシミュレータの基本操作時に学生が犯すエラーの分析および考察結果について述べ，基本操作に関する指導項目を明らかにする．そして，教育訓練の各時期における操作エラーに関する調査結果から，操作データに基づいてどのようなエラーが発生しているのかエラー全般に関する考察結果について述べる．加えて，マウスを操作する過程において機関システムに関する情報収集，操作機器の確認，操作後の状態確認のために画面の注視が行われていることに注目し，視線に関する観察を行ってより詳細な操作時の振る舞いを明らかにする.

4.2 ＰＣ版機関室シミュレータの基本操作エラー

学生がＰＣ版シミュレータの操作する場合，さまざまな基本操作を組み合わせて操作を行っている．そこで，操作全体のエラーを分析する第一段階として，単純な操作である基本操作についてのエラーを明らかにした.

4.2.1 基本操作エラーに関する実験

(1) 被験者

シミュレータの操作データを収集した被験者は海技大学校の学生である．データは１年生については２月の最終評価時に収集し，２年生については練習船から帰校した１年後の同時期に収集した．データを収集した学生数は１年生と２年生の２回のデータを収集できた学生が 18 名，1 年生あるいは２年生のデータしか収集できなかった学生が 15 名である．従って，基本操作エラーに関する実験データとして合計 33 名の学生の操作データを収集した．

(2) 実験方法

実験を実施した操作シナリオは主機関の暖機作業から試運転までの一連の操作である．一般に機関システムの操作は系統ごとに操作が行なわれるので，操作マニュアルにおいても系統ごとに記述されている．そこで本実験では，各学生が操作する様子をビデオカメラで撮影し，表 4.1 に示す操作シナリオの一部である暖機作業の各系統の操作群に分類し，さらに各操作群の操作を基本操作に分割した．なお，表中の括弧内の数字は各基本操作数を表している．

表 4.1　暖機作業における操作群の分類

<table>
<tr><th>操 作 群</th><th>基　本　操　作</th></tr>
<tr><td rowspan="2">潤滑油系統(8)</td><td>バルブ操作(6)</td></tr>
<tr><td>ポンプ起動(2)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">冷却清水系統(8)</td><td>バルブ操作(5)</td></tr>
<tr><td>ポンプ起動(1)</td></tr>
<tr><td>暖機：蒸気による加熱(2)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ターニング(4)</td><td>インジケータコック開(1)</td></tr>
<tr><td>ターニングモータ起動(1)</td></tr>
<tr><td>プライミング(2)</td></tr>
</table>

4.2.2 基本操作エラーに関する実験結果と考察

(1) 基本操作エラーの特徴

収集した操作データを操作順序により各操作群における基本操作へ分類して集計を行った．その結果から，基本操作におけるエラーについてその特徴を明らかにする．

①　潤滑油系統の基本操作におけるエラー

潤滑油系統の基本操作におけるエラーを表 4.2 に示す．ポンプ起動の順序に関するエラーの割合と比較して，バルブ操作の順序を逆にするエラーの割合が高い．その原因は，バルブの位置が中央付近にあるカム軸ＬＯポンプのバルブを最初に開けることによるものであった．

表 4.2　潤滑油系統の基本操作におけるエラー

操　　作　　結　　果	件数	％
＜バルブ操作の順序＞		
・主ＬＯポンプ，カム軸ＬＯポンプの順（正しい操作）	３３件	64.7％
・カム軸ＬＯポンプ，主ＬＯポンプの順（エラー操作）	１３件	25.5％
・主ＬＯポンプの弁操作後他の系統の操作（エラー操作）	５件	9.8％
＜ポンプ起動の順序＞		
・主ＬＯポンプ，カム軸ＬＯポンプの順（正しい操作）	４３件	84.3％
・カム軸ＬＯポンプ，主ＬＯポンプの順（エラー操作）	８件	15.7％
＜ポンプ起動の条件＞		
・ＬＯ系統全体のバルブ操作終了後起動（正しい操作）	３６件	70.6％
・主ＬＯ系統，カム軸ＬＯ系統のバルブ操作終了後に起動（エラー操作）	１５件	29.4％

②　冷却清水系統の基本操作におけるエラー

冷却清水系統の基本操作におけるエラーを表 4.3 に示すが，潤滑油系統に比べて，ポンプ起動の条件に関するエラーの割合が高い．その原因は，ポンプ出口以外のバルブ操作に関するエラーが多いことによる．また，暖機蒸気に関しては早過ぎる操作の割合が高くなっている．これは，暖機蒸気のバルブがポンプの出口バルブと入口バルブの近くにあるため，ポンプのバルブを操作するときに同時に操作する場合が多いことによる．

表 4.3　冷却清水系統の基本操作におけるエラー

操　　作　　結　　果	件数	%
＜ポンプ起動の条件＞ ・清水系統が確立されてからポンプ起動（正しい操作）	２８件	54.9%
・系統内に閉じたバルブがある状態で起動（エラー操作）	２３件	45.1%
＜暖機蒸気により加熱する時期＞ ・適当である（正しい操作）	２７件	52.9%
・早過ぎる（エラー操作）	１９件	37.3%
・遅過ぎる（エラー操作）	５件	9.8%

③　主機ターニングの基本操作におけるエラー

主機ターニングの基本操作におけるエラーを表 4.4 に示す．インジケータコックを開けずに主機ターニングをするエラーの割合が高く，操作前に十分な確認が行なわれていないことによるものと考えられる．

表 4.4　主機ターニングの基本操作におけるエラー

操　　作　　結　　果	件数	%
＜ターニングの順序＞ ・インジケータコックを開けてターニング（正しい操作）	３１件	60.8%
･インジケータコックを開けずにターニング（エラー操作）	１９件	37.2%
・ターニングを行なわなかった（エラー操作）	１件	2.0%

4.2.3 基本操作エラーに基づく指導

基本操作エラーの分析等から得られた学生がＰＣ版シミュレータを操作する際に生じるエラーの特徴から，基本操作エラー減少させるためにインストラクターは以下に述べるような事項を指導する必要がある．これらの指導を行うことにより，早い段階での基本操作におけるエラーの修正が可能となり，最終評価段階における操作エラーの減少することが期待できる．

(1) 操作画面の上部に位置する操作しやすいバルブやポンプを誤って最初に操作するエラーの割合が高いので，バルブと機器とのつながりなど，各系統の概念を十分に与える指導を行なう．

(2) ポンプ起動時の確認事項が不十分なため，系統内の一部のバルブが閉まったままの状態で起動する割合が高いので，ポンプ起動時の確認事項に対する指導を行なう．

(3) 操作時期に関するエラーの割合が高かったので，どのようなタイミングで操作すれば良いのかの指導を行なう．

(4) 操作に慣れてくると，操作手順を無視して操作時間短縮を目的とした操作が見られる．無意識に操作手順を無視したエラーを発生させる可能性があるので，操作手順通りの操作を確実に行なうように指導する．

4.3 未熟練者の操作エラーに関する研究

ＰＣ版シミュレータを用いて機関室システムの運転操作に関する教育訓練を実施し，教育訓練手法の改善や教育効果の向上を目的に学生の様々な操作データの収集を行った．これらの収集した操作データから，未熟練者である学生の操作の過程を分析し，未熟練者がどのような操作エラーを行っているのか，その特徴を明らかにすることにより操作エラーの減少に役立つ指導法を検討した．

ＰＣ版シミュレータを使用した訓練においては，学生の運転操作のための行動，すなわち学生が機関システムの操作目標を達成させるための運転操作手順が操作履歴として蓄積されている．これらの運転操作データを操作エラーの面から整理し，考察を行った．

未熟練者の操作エラーに関するデータは，Vietnam Maritime University（以下，ＶＩＭＡＲＵ）において収集した．収集したデータは学生のシミュレータの操作履歴(History Data)およびビデオ撮影による観察記録である．なお，操作エラーデータをＶＩＭＡＲＵで収集した理由は，海技大学校に設置されているシミュレータと同様のシミュレータを保有していることと，海技大学校と比較して学生数が多いことから多数のデータを収集できることによる．

4.3.1 操作エラー分析のためのデータ収集

(1) データ収集の目的

ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練における主たる教育目標は，プラントの現状を把握して操作目標を達成するための運転操作，すなわち機関システムの運転操作に必要な手続き的知識の獲得である．例えば，機関システムの一部である冷却清水ポンプを起動する場合，冷却清水系統のタンクの量を確認した後に系統のバルブを開けて現状を確認することが必要であり，異常が無ければポンプの起動を行うという操作手順に関する知識を習得しなければならない．そこで，これらの運転操作においてどのような操作エラーが生じているのかに注目し，未熟練者の操作エラーを明らかにする目的で学生の運転操作データを収集した．

(2) データ収集の方法および内容

ＶＩＭＡＲＵにおける操作データの収集は 19 人の４年生の学生に対して行った．彼らはデータ収集時までに約 10 時間シミュレータを用いた教育訓練を経験している．収集したデータは，主機関の暖機および試運転を行うことを目的とした操作シナリオに関するデータである．それらのデータは，図 4.1 及び図 4.2 に示すグラフィックスに表示されている主機関に関係する機関室内のポンプやバルブなどの操作を学生が行った記録である．

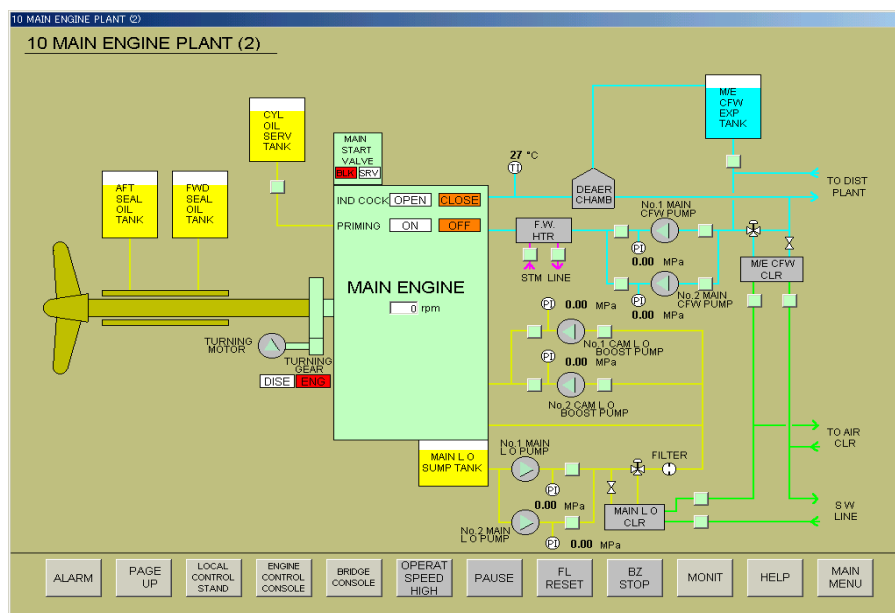



図 4.1　主機関の操作画面(冷却清水・潤滑油系統)

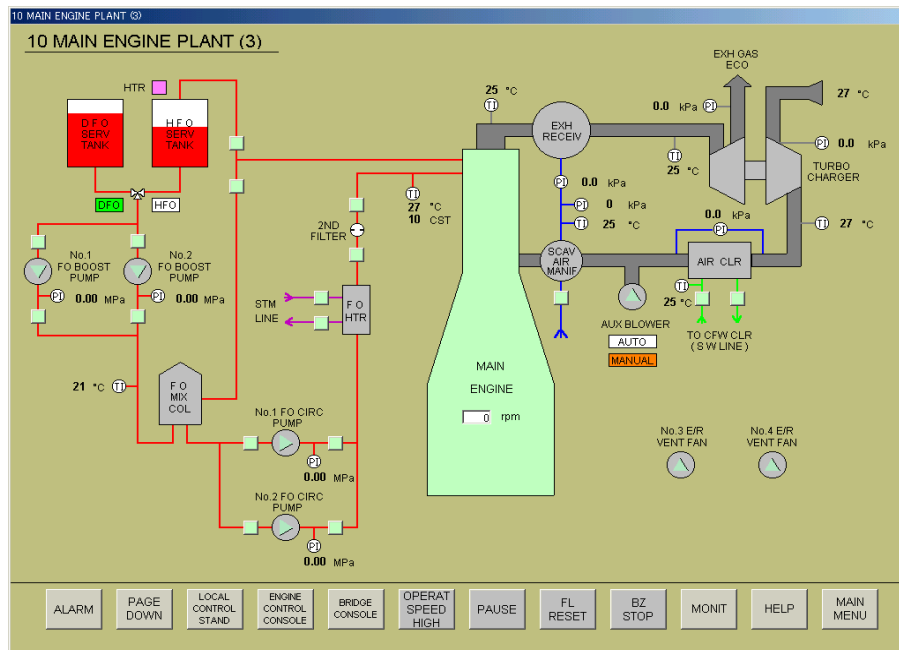



図 4.２　主機関の操作画面(燃料系統等)

主機の遠隔操作については図 4.３で示される制御盤のグラフィックスを使用して学生は操作を行っている．また，主機の海水系統などのサブシステムについては５つの操作画面を使用して操作を行っている．

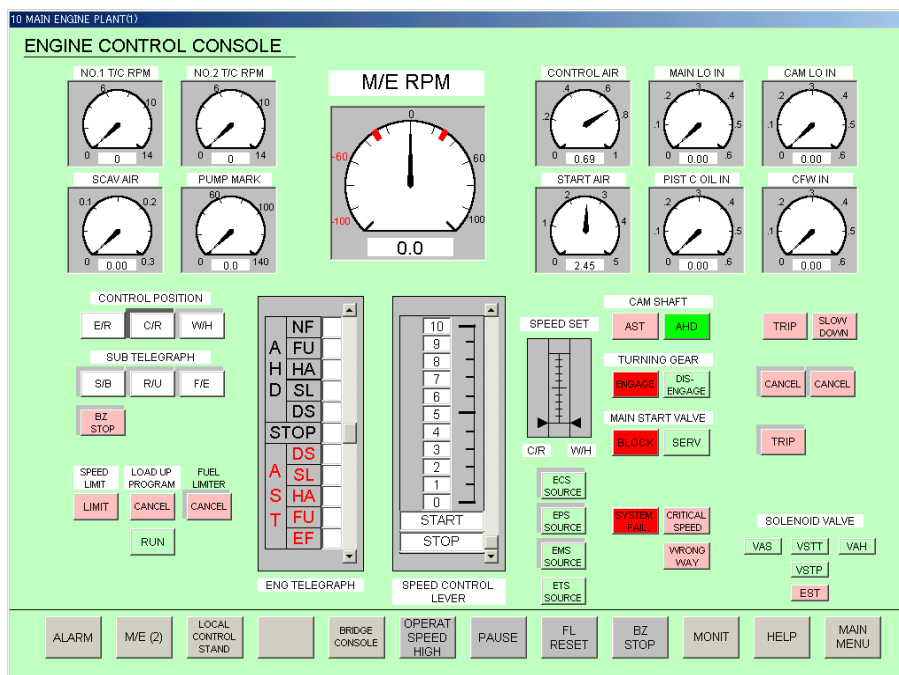



図 4.３　主機制御盤

学生が行っているポンプの起動および停止などの操作が操作履歴としてエクセルファイル(Excel File)の状態で各学生のＰＣに蓄積されるので，これらのデータをＬＡＮを利用してインストラクターのＰＣに収集した．収集したデータの内容は，操作時間，操作内容および機器並びに警報発生の状態である．

4.3.2 操作エラーの分析およびその考察

(1) 達成時間とエラーの数の関係

主機の暖機及び試運転を実施するという操作目標を達成する操作シナリオにおいて学生は様々なエラーを行っている.それらのエラーも操作履歴として記録されるので,操作履歴の中から学生が行った操作エラーを抽出して学生毎に整理した．その結果を表 4.5 に示す.

表 4.5　各学生の操作エラー数

操作エラー数	学生数	操作エラー数	学生数
５件	５名	１１件	１名
６件	１名	１２件	０名
７件	３名	１３件	０名
８件	２名	１４件	２名
９件	１名	１５件	２名
１０件	１名	１７件	１名

表 4.5 に示されたエラー数は，２極化の傾向を示していて，わずか５件のエラーしかしていない学生は５名であり，あらかじめ計画されていた操作手順に従って操作していると推測できる.一方,14 件以上のエラーを引き起こした学生も同じく５名いる.彼らについては，計画された操作手順に従った操作が困難であったと考えられる．また，これら学生たちは操作手順が混乱状態に陥り，同じ操作を再三繰り返しているとともに，機関システムや機器に損害を与える重大なエラーを犯している.

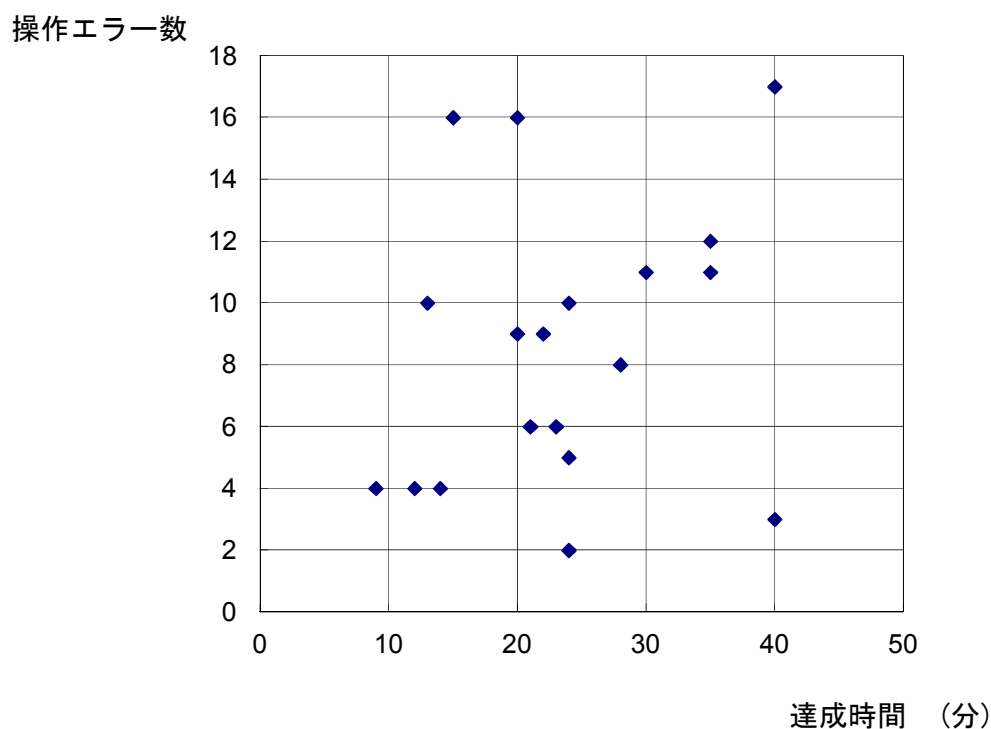



図 4.4　操作エラーと達成時間の関係

達成時間とエラー数の関係を図 4.4 に示す．達成時間とエラー数の関係は明確な比例関係を示していなくて,達成時間が短くても多くのエラーを発生させた学生がいる．従って，ＰＣ版シミュレータの評価において操作目標の達成時間およびエラー率の両方が使用されているが[4.1][4.2]，評価にあたっては達成時間およびエラー率の両方が必要であることの妥当性をこの図は示している．

(2) 未熟練者の操作エラーの内容

ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練において学生がどのような種類の操作エラーを行ったのか検討した．未熟練者がシステムを操作する場合，計画的な操作手順を構築するのが困難であることから，学生が操作する際の操作意図を判断することが難しい．従って，学生のエラーについては，外部から容易に観察することができる振る舞いのエラー形式と呼ばれる外部に表れるエラーに分類した[4.3]. 操作エラーの種類とエラーの件数を表 4.6 に示す.

表 4.6　操作エラーの種類

操作エラーの種類	操作エラー数
操作の忘れ	６３件
余分な操作をする	６０件
操作順序の間違い	２４件
操作確認を忘れる	１１件
同じ操作の繰り返し	９件
その他	６件
合　　計	１７３件

それらのデータをヒューマンエラーの観点から考察した結果，未熟練者が犯しやすい主な操作エラーは，操作の忘れや余分な操作をすることである．更に，学生が犯した操作エラーを詳細に分析したところ，これらの操作エラーは以下の原因で発生している．

＊ 全体のシステムおよび基本の操作に関する知識の不足

＊ 不十分な確認

＊ 操作順序に関する不完全な知識

学生が犯した操作エラーの具体的内容の例を以下に示す．

①　ポンプ運転に関係するエラー

一般に機関室においては，ポンプが２台並列に結合されており，1 台のポンプを運転した後にもう一台のポンプをスタンバイの状態に設定しなければならない．冗長性の意味を理解していないため，スタンバイのポンプまでも運転するというエラーがある．この様なエラーは予備のポンプを設置している全てのポンプシステムでエラーを起こしている．

また，運転が必要なバルブやポンプが画面上で離れているために運転操作を忘れたケースなどもある．このことは，運転操作後の作動確認が欠落していると考えられる．特にＰＣ版シミュレータとしてのエラーはマウスの使い方に起因するものが多く見受けられる．

②　主機ターニングギヤに関係するエラー

主機ターニング操作でのエラーは，そのほとんどが操作手順におけるもので，ターニングギヤのメンタルモデル[4.4]が構築されなかったものと推測できる．すなわち，操作手順を考えずに，ディスプレイのグラフィックの配置に基づいて操作した事によるものである．

③　燃料油加熱装置に関係するエラー

燃料油加熱装置の運転エラーの原因は，燃料加熱に関する概念的知識の不足および加熱のタイミングの誤りである．この場合システムを正しく操作するために，手続き的な知識および概念的知識の両方が必要である．蒸気弁を閉じることを忘れるエラーも見られるが，これは油の温度変化への注意不足がエラーを引き起こす要因となっている．この様な結果から，インストラクターは機器を操作した後のシステムの状態変化に関して教えることが必要であり，モニターの使用法に関する十分な説明および指導も行わなければならない．

(4)　未熟練者のアラームへの反応

運転手順を間違えてアラームが発生した場合，未熟練者は同じ操作を繰り返す特徴が見られる．例えば，インジケータコックが閉まっている状態でターニングモータを起動するとターニング異常の警告が発生する．その際，操作エラーの原因を考慮せずに，操作の誤りに気づいて正しい操作に修正するまで，ターニングモータを起動するという同じ操作を繰り返す．そこで，操作エラーのアラームが発生した時にどのように反応するのか調査した結果，平均2.5回同じ操作を繰り返している．また，ターニングの操作で警告が生じた時,学生の注意が警告を発生させないことに集中したため，ターニングを中止することにより警告を発生させないという操作も行なっている．この操作はエラーの原因を発見する知識が不十分であることを示している．従って，警告によってシステムの異常を知らせるだけでは学生に対する情報として不十分であり，原因を推測することができるサポート・システム[4.5]が必要である．

(5)　操作中の未熟練者の振る舞い

操作履歴に現われない未熟練者の操作の特徴を抽出するため，学生がＰＣ版シミュレータを操作する状況を撮影したビデオ画像を使用して操作過程の検討を行った．その結果，以下に示す間違った振る舞いが見られた．

＊　バルブをすべて開く

＊　バルブを画面の上方から下方の方向に開ける

＊　バルブを左からの右の方向に開ける

＊　マウスのポインターを示しただけで，実際に機器を操作しない

＊　起動空気系統のバルブを開くタイミングを間違える

＊　制御室における主機の運転操作の手順を間違える

4.3.3 操作エラー減少に必要なインストラクターの指導

操作エラーは認識，判断および操作の各段階で発生すると言われているが[4.6]，ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練における操作エラーを考察した結果から，操作エラーを減少させるためには以下のようなインストラクターの指導が必要である．

(1) 操作に必要な基礎知識獲得の支援

手続き的な知識を獲得する目的で学生がＰＣ版シミュレータを操作する場合においても基礎知識は必要であるが,操作に必要な基礎知識が不十分である状況が見られる．特に，予備機（スタンバイ機）あるいは起動するポンプの起動条件に関する知識が不足している．この知識は若いエンジニアの基礎知識であり，船の経験によって簡単に得ることも可能であるが，ＰＣ版シミュレータを使用した自己学習における初期段階では獲得が困難なので，インストラクターの支援が必要である．従って，自己学習によって獲得した知識が不十分な場合は，インストラクターの指導による知識教示による手続き的知識獲得と自己学習による知識獲得との協力関係が必要である．

(2) システムに関する知識獲得の支援

機関システムを操作する場合，機器の名称と機能に関しては理解しているので，操作する機器を間違えることはない．しかし，それらの機器の相互関係が良く理解できていないため，例えばポンプの近くのバルブは認識しているので操作するが，離れた場所のバルブの操作を忘れるといった現象が見られる．バルブをすべて開ける操作や右から左の方向にバルブを開ける操作などはシステム的な考えの欠落を示している．従って，インストラクターはシステムを理解させるという観点からの指導が必要である[4.7]．

(3) 判断力向上の支援

シミュレータを操作する過程でシステムの状態を判断しなければならない状況において，未熟練者の場合は判断の基準として使用すべき知識が不足していることから，判断を誤るかあるいは判断をせずに操作を継続する傾向にある．このことから，判断が必要な操作では，インストラクターは学生に対して判断基準を示す必要性がある．さらに，運転条件が満たされずに操作を断念する状況が見られるので，操作を継続するために必要な条件の提示がインストラクターの役割として重要である．

(4) メンタルモデル構築に対する支援

操作されたシステムが変化する状況を確認しない傾向が見られる．理由はフィードバックの認識がなく，システムの操作後の状態変化に関する知識が不十分ということである．従って，操作した後のシステムの状況に関して無関心で，モニターの機能を利用していない学生が多く見られる．インストラクターは運転手順を教えるだけでなく，学生のメンタルモデルの構築をサポートするために機械を操作した後のシステムの変化に関しても指導しなければならない．

(5) 教育訓練回数の制御

システムの操作手順の知識はインストラクターから教えられるが，その直後はすぐに忘れてしまう短期記憶の状態である．従って，短期記憶知識から長期記憶知識に学生の知識が変容するためには，訓練を繰り返させなければならない．学生はどの程度の訓練をすれば良いのか判断するのが困難であるので，教育訓練の回数についてはインストラクターが決定しなければならない．

4.4 操作エラーの気づきに関する研究

機関システムの操作手順に関する知識獲得を目的としたＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練を乗船経験の少ない学生に対して実施した場合，前項で述べたように未熟練者である学生は数多くの操作エラーを犯している．しかし，自らエラーに気づいて修正の操作を行ったことにより，システムに影響を与えること無く運転操作が継続される状況も見られた．

このように，シミュレータの操作中に操作の間違いに気づくことは，操作エラーの

減少に寄与すると考えられる．そこで，シミュレータの操作中の振る舞いにおける気づきについての研究を行った．

シミュレータの操作データに基づいて，操作エラーを行った場合の気づきの状況やエラーの種類と気づきとの関係及び気づきのきっかけなどについて考察を行い，未熟練者のシミュレータ操作時の気づきの特徴を明らかにするとともにシミュレータを用いた教育訓練において必要な指導すべき事項について述べる．

4.4.1 操作の気づきに関するデータの収集

ＰＣ版シミュレータの操作データを収集した被験者は海技大学校の学生 12 名である．データ収集は，同じ学生に対して１年生後期の２月と乗船実習を終えて帰学した 1 年後の同時期の２月の２回にわたり行った．従って，両者のデータには約１年の時間経過と９月の乗船経験の違いがある．

収集したシミュレータの操作データの内容は主機の暖機作業・試運転及び出航準備作業に関する機関室内の機器の操作である．

4.4.2 操作エラーの気づきに関する分析と考察

(1) 操作エラーの気づき

収集した操作データから学生の操作エラーを抽出して集計を行った．最初に操作エラーに気づいた操作と操作エラーに気づかずにそのまま操作が継続された操作に分類した．その結果を表 4.7 に示すが，エラーに気づいた操作 194 件とエラーに気づかなかった操作 201 件とを合わせ，操作エラーの総数は 395 件に達している．

表 4.7　エラーに気づいた操作の割合

	エラーに気づいた操作件数（%）	エラーに気づかなかった操作件数（%）	合計件数（%）
１年生	73 件(39.5%)	112 件(60.5%)	185 件(100%)
２年生	121 件(57.6%)	89 件(42.4%)	210 件(100%)
合計	194 件(49.1%)	201 件(50.9%)	395 件(100%)

未熟練者である学生は数多くの操作エラーを行っていて，全体のエラー総数のうち約半数はエラーに気づくが，残りの約半数はエラーに気づかないという結果となっている．

学年による特徴では，２年生の方がエラーの総数がやや多くなっているが，エラーに気づいた操作の占める割合が高い．９ヶ月の乗船実習において同様の暖機作業の訓練を行っていることから,乗船経験が気づきの能力向上に役立っていると考えられる．

(2) 操作エラーの種類と気づき

どのような操作エラーを行った場合に気づきやすいのか，人間信頼性解析手法のTHERP（Technique for Human Error Rate Prediction）で用いられているエラーモードを参考にエラーの種類と気づきの関係について整理した[4.8]．その結果を図 4.5 に示す．

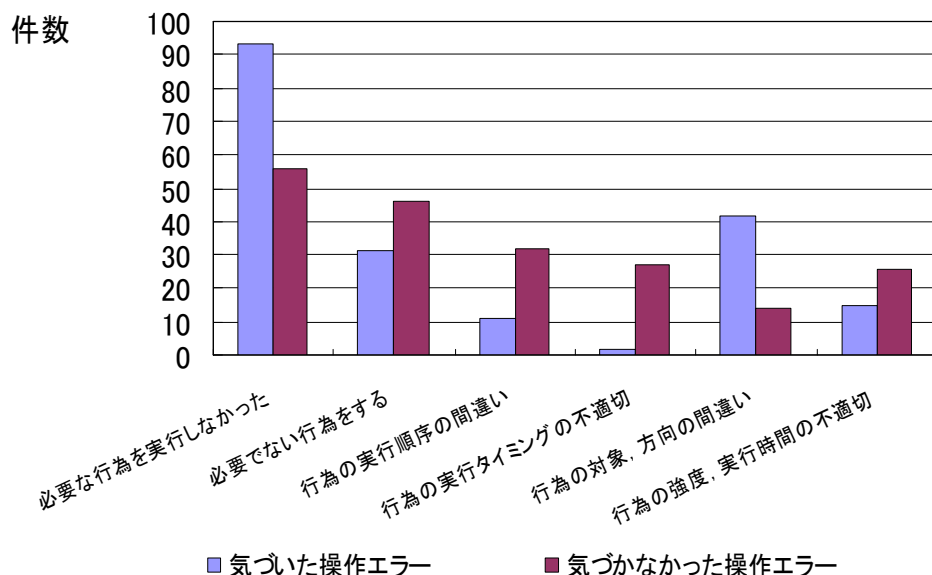



図 4.5　操作エラーの種類と気づき

「必要な行為を実行しなかった」という操作の忘れや「行為の対象・方向の間違い」のエラーについては気づく割合が高く,「行為の実行順序の間違い」や「行為の実行タイミングが不適切」の場合には気づかないエラーの割合が高い．後者の場合，記憶されている知識の不足や知識の間違いにより気づきが困難な状況であると推測できる．

必要でない行為をする場合も気づかない割合が高くなっている．また，無意識に行っている操作も見受けられたので，操作に関して操作をしているという意識を持たないと気づきが得られないことを示している[4.9]．

(3) 操作エラーの気づきのきっかけ

操作エラーの気づきのきっかけを表 4.8 に示す．強制的にエラーを知らされる警報（警告）による割合は少なく，操作の振り返りやシステムの状況確認などの自発的な確認により気づきが行われている．このことから，気づきに必要な初級レベルの判断基準の獲得はシミュレータによる教育訓練で可能と考えられる．

「システムが予想の状況に変化しない」ことからエラーに気づく場合には，システムの挙動をメンタルモデルとして構築していると考えられるが，気づきまでに時間を要する不十分なメンタルモデルが構築されていると考えられる．

なお，警報（警告）とはシステムに影響を与えるような操作エラーを行った場合に操作ミスに気づかせるために発せられるもので，モニターから警報が発せられる場合とシミュレータのソフトとして組み込まれている警告により気づく場合がある．

表 4.8　操作エラーの気づきのきっかけ

気づきのきっかけ	1 年生	2 年生	合計件数
操作の振り返り	19 件	17 件	36 件
システムの状況確認	15 件	44 件	59 件
予想の状態に変化しない	20 件	37 件	57 件
モニター情報	11 件	5 件	16 件
警報（警告）	8 件	18 件	26 件
合　　計	73 件	121 件	194 件

(4) 操作エラーに気づかない要因

気づきの結果から，様々な操作エラーは自己監視により自分自身で発見されている割合が高いことが明らかである[4.10]．従って，気づかないのは自己監視が行われていないと考えられる．なぜ，自己監視が行われなかったのか，操作の振る舞いから操作エラーに気づかない要因を分類した[4.11]．その結果を表 4.9 に示す．

先に述べたように判断基準を持たないなどの知識不足と操作の方法や順序を忘れてしまっている場合が多いことを示している．つまり，操作者自身が正しい操作を行っていると思っている場合がほとんどであり，自己監視の機能そのものが働いていないと考えられる．

表 4.9　操作エラーに気づかない要因の分類

気づかなかった要因	１年生	２年生	合計件数
操作の省略	4 件	9 件	13 件
知識不足	43 件	27 件	70 件
確認ミス	7 件	5 件	12 件
操作行為の忘れ	24 件	14 件	38 件
順序の忘れ	34 件	34 件	68 件
合　　　計	112 件	89 件	201 件

4.5 視線測定技術の応用による操作過程の分析

ＰＣ版シミュレータにおいて，機関室内の各機器の起動やバルブの開閉等の運転操作はマウスにより行われるので，操作履歴並びにマウス操作のビデオ観察から操作者の振る舞いを分析し，未熟練者である学生の運転操作に関するエラーの種類やその原因について分析を行い，エラーを減少させる教育訓練手法の改善に関する提案を前項で行った．しかしながら，マウスにより操作する過程においても，システムに関する情報収集，操作機器の確認，操作後の状態確認のために画面の注視が行われている．従って，操作過程を分析する場合，マウスの操作手順の観察に加えて操作に必要な情報収集や操作の確認に関する観察が必要である．

そこで，ＰＣ版シミュレータの操作過程を明らかにするため，Tobii technology 社製の Tobii1750 アイ・トラッキングシステム（以後アイトラッカー）を用いて，操作中の視線測定を行い，ＰＣ版シミュレータ操作時に注視する機器や視線の停留時間等のデータを収集した．そして，それらのデータを用いて操作過程における注視点の移動，注視時間，操作時の注視箇所，操作後の確認事項に関して分析を行い，ＰＣ版シミュレータの操作過程における注視点の移動頻度，認知に必要な注視時間，操作における注視の特徴などについて考察を行った．

4.5.1 視線データの収集方法

(1)　視線測定装置

視線データの収集には，ディスプレイ下部に視線測定装置が組み込まれている図

4.6 に示すアイトラッカーを使用した．本装置の視線測定方法は，眼球に近赤外線の点光源を照射し，網膜の反射をカメラで撮影し視線を算出する方法[4.12]であり，ディスプレイ下部両側から近赤外線を両眼に照射してその反射を中央のカメラで撮影する構造になっている．そのため，被験者にストレスを与えるようなアイカメラを装着することなく視線測定が可能である．従って，被験者を拘束することなく視線移動ができ，通常のシミュレータ実習とほぼ同じ操作環境でデータ収集することができた．

図 4.6　Tobii1750 を用いたＰＣ版シミュレータの操作環境

データ収集のシステム構成は，図 4.7 に示すようにシングルコンピュータシングルディスプレイ方式とした．つまり，ディスプレイに接続するパソコンにアプリケーションソフトであるシミュレータのソフトとアイトラッキング用のソフトをインストールする方式である．従って，パソコンとディスプレイを兼用している視線測定装置との接続は，USB1394 モニターケーブルで接続されていて，自動的に被験者の視線データがパソコンに記録される．なお，単純なシステム構成を採用したのは，アプリケーションソフトであるシミュレータの操作画面がグラフィック表示のために画像処理能力が小さくて良く，パソコン１台で両ソフトを処理する能力を十分に有していたことによる．

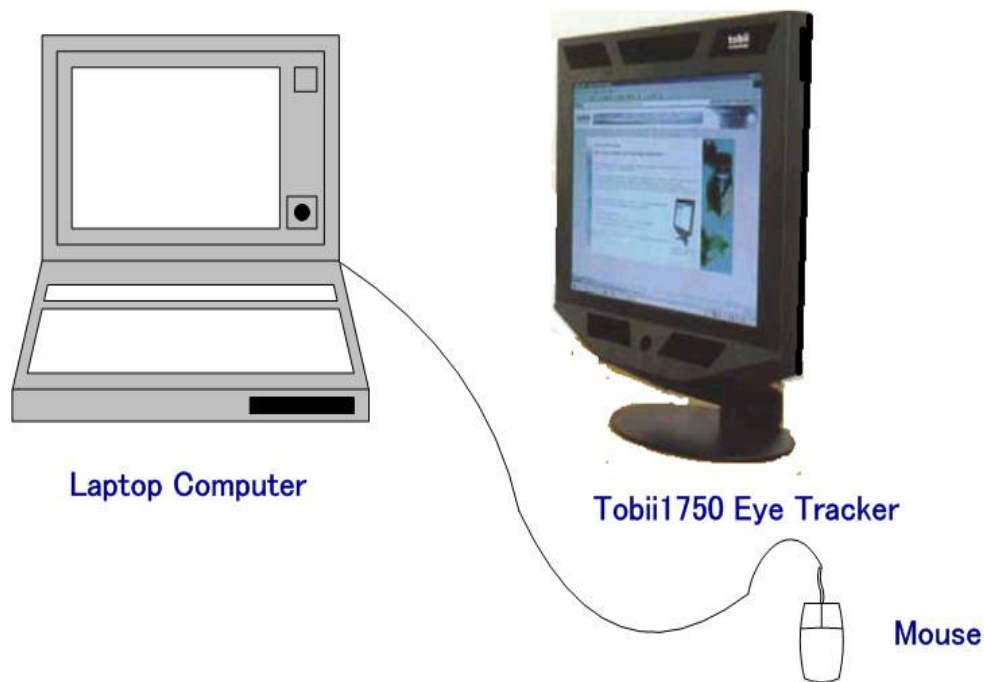



図 4.7　パソコンと Tobii1750 との接続

(2) 視線データ収集の被験者

データの収集は海技大学校の学生 19 名（１学年）に対し，ＰＣ版シミュレータ実習の評価段階において実施した．学生は，前期に週１時間，後期に隔週２時間のスケジュールで実習を実施しているため，ＰＣ版シミュレータの操作に関して視線データを収集するまでに約 40 時間の実習を体験している．

従って，学生はＰＣ版シミュレータの操作に習熟していて，スムーズに操作できるレベルに達していると推測できる状況である．

(3) データ収集の方法

被験者がアイトラッカーの正面前方に座った状態でデータ収集を行うが，最初にキャリブレーションを行い，図 4.8 に示すように被験者である学生の両眼がアイトラッカーのカメラの視野に入って認識されていることを確認した後，データ収集のためのシミュレータ操作を行った．データ収集を行う場合はアイトラッカー付属ソフトのClear View を最初に起動しておいて,分析に用いる視線データの収集を行った.なお,データ収集を行ったＰＣ版シミュレータの操作は，いわゆる暖機作業である主機関の試運転準備作業並びに試運転及び関連作業の操作シナリオである．

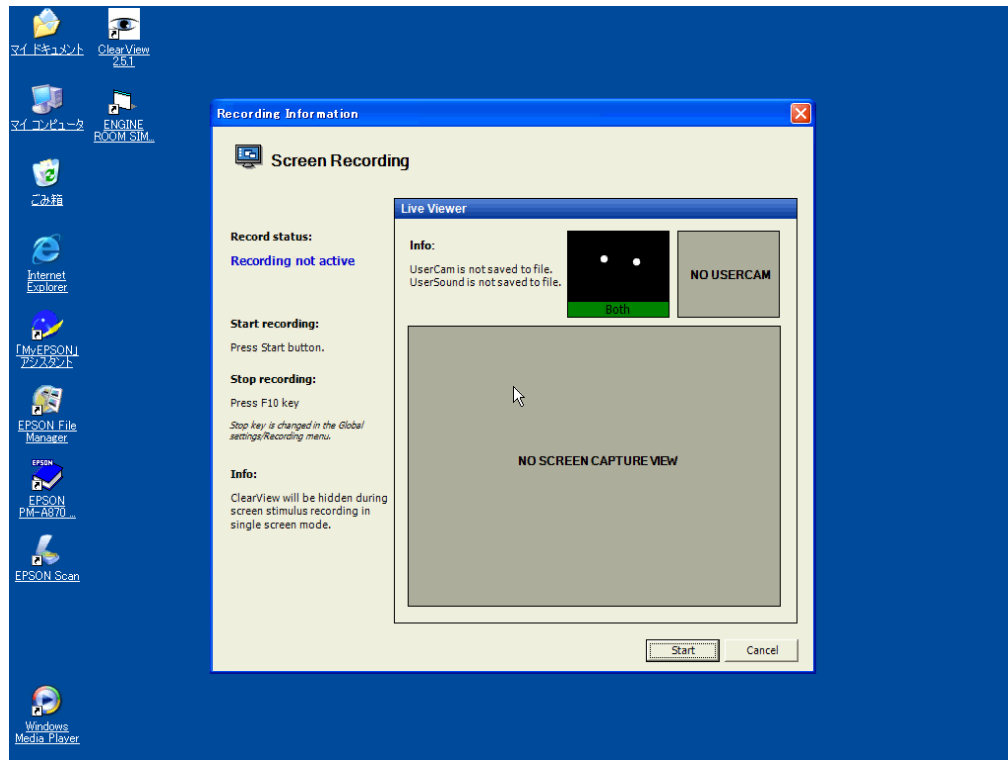



図 4.8　キャリブレーションの画面

4.5.2 収集したデータの種類

(1) 視線データの内容

データは学生毎にパソコンに収集されたが，収集したデータは，眼球の視線データ，イベントデータ，停留データ等である．また，収集したデータの分析にもアイトラッカー付属の分析ソフトウエアである Clear View を用いた．Clear View を用いることにより，収集した視線データをテキストファイル及び画像並びにビデオ再生により出力することができ，それらの出力されたデータを用いて分析を行った．

今回の分析において使用したデータの内容及びその値の一部を次に示す．

①　眼球・視線データ

眼球・視線データの内容を表 4.11 に示すが，表 4.11 は 1 回の眼球・視線データである．累積数は学生により異なるが，主機の暖機準備作業及び試運転で約 1,000 件程である．ただし，左右の視線を認識していない学生の場合は累積数が少なくなる傾向を示したが，累積数の少ない場合はキャリブレーションが不十分なために視線の観測

ができなかったと判断し，分析するデータから削除した．その結果，19 名の学生から視線データを収集したが，眼球・視線データが不十分な学生のデータを排除して分析を行った．

表 4.11　眼球・視線データ

収集したデータ	データの内容	データの値
Number	注視点につけられたシリアル番号	686780
Time	記録開始からの時間	34392
Screen X　(left eye)	左目注視点の位置（X 軸）	298
Screen Y　(left eye)	左目注視点の位置（Y 軸）	363
Cam X　(left eye)	カメラ画像の左目瞳孔の位置（X 軸）	0.873
Cam Y　(left eye)	カメラ画像の左目瞳孔の位置（X 軸）	0.652
Distance　(left eye)	カメラから左目までの距離	734.272
Pupil　(left eye)	左目の瞳孔の大きさ	3.033
Code　(left eye)	視線データの有効性	0 （0 は有効を示す）
Screen X　(right eye)	右目注視点の位置（X 軸）	598
Screen Y　(right eye)	右目注視点の位置（Y 軸）	398
Cam X　(right eye)	カメラ画像の右目瞳孔の位置（X 軸）	0.619
Cam Y　(right eye)	カメラ画像の右目瞳孔の位置（Y 軸）	0.615
Distance　(right eye)	カメラから右目までの距離	723.144
Pupil　(right eye)	右目の瞳孔の大きさ	3.172
Code　(right eye)	視線データの有効性	0（0 は有効を示す）

②　イベントデータ

イベントデータの一部を表4.12に示す.Timeは記録開始からの時間(単位はミリ秒),Eventは操作の内容であり,シミュレータの操作は左マウスボタンを使用しているのでEventデータとして左マウスボタンが記録されている．Event keyは各イベントに付けられている識別番号であり，左マウスボタンの操作は１である．他に，右マウスボタン操作が２，キーボード操作の場合は３である．Data１とData２の値はイベントキーにより異なり，マウスボタンの場合はマウスのＸＹ座標であるが，キーボード場合はキーのASCIIコードとなっている．

操作は左マウスボタンのみを使用するのであるが，右ボタンをクリックするエラーもあった．ただし，その件数は非常に少なく全体の操作件数 4,663 件のうちわずかに 4 件であった．従って，右マウスのクリックと左マウスのクリックは明確に区別された状態で操作が行われていることが確認された．また，間違ってキーボードを操作したエラーの例は無かった．

表 4.12　イベントデータ

Time	Event	Event key	Data 1	Data 2
20149	LMouseButton	1	627	576
21117	LMouseButton	1	627	617
22421	LMouseButton	1	416	698
24741	LMouseButton	1	183	472
27183	LMouseButton	1	706	708
27669	LMouseButton	1	632	705

③　停留データ

停留データの一部を表4.13に示す．停留データとして，Number(注視点に与えられた連続したシリアル番号)，Time(記録開始からの時間)，Duration(視線の停留時間：単位はミリ秒),ScreenＸおよびScreen Ｙ(停留点のＸ軸及びＹ軸の位置)が記録される．従って，これらのデータを用いて注視箇所並びに注視時間を明らかにすることができる．

表 4.13　停留データ

Number	Time	Duration	Screen Ｘ	Screen Ｙ
1	189	219	445	394
2	468	179	105	138
3	668	179	86	48
4	867	199	117	109
5	1086	160	126	146
6	1365	678	124	142

また，Clear View により図 4.9 に示すように各注視点の順序番号と注視時間に対応した円（注視時間が長い場合は直径が大きくなる）を累積した画像で表示することも可能であるが，同じ箇所を注視した場合には重なって表示されている．実際の分析においては，学生の操作過程を時間軸が変更されたスローなスピードで再生することができるため，注視並びにマウスの操作を詳細に観察することができる．

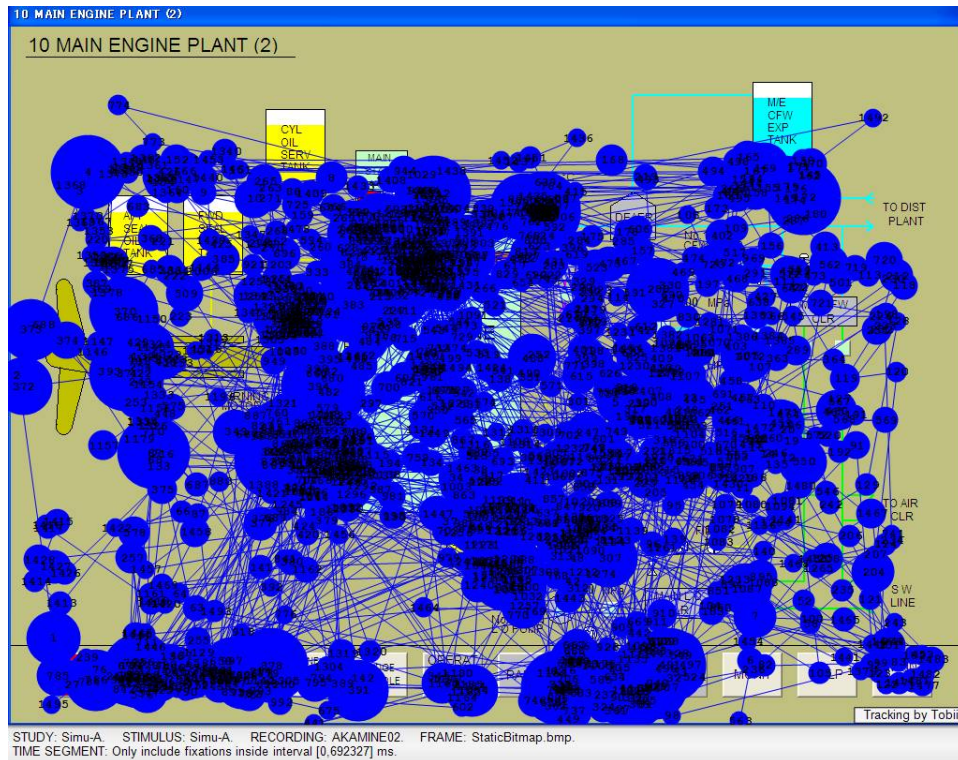



図 4.9　注視点の視線データの累積結果

4.5.3 マウス操作の特徴

(1) マウスの操作数

ＰＣ版シミュレータの操作はマウスにより行われるが，エラーを発生するとその修正が必要となるため，マウスの操作回数が多くなることが予測される．標準的なマウスの操作回数は約 260 回程度である．400 回を超える者も数名いるが，操作のやり直しによる操作回数の増加が原因である．マウスの操作間隔の平均は 3.27 秒となっている．また，マウスの操作回数が多かった学生は無駄なマウス操作も見られたが，システムの運転状態確認ならびに操作結果のためにモニターを頻繁に見たことによりマウ

スの操作回数が増加した学生もいる.

図 4. 10 に達成時間とマウス操作回数を示すが, 達成時間が長くなると修正の動作のためにマウスの操作回数が多くなる傾向を示す結果となった. また, 達成時間とマウスの操作間隔の関係を図 4. 11 に示すが, 達成時間が長くなるとマウスの操作間隔も長くなる傾向ではあるが, 顕著な特徴は見られなかった.

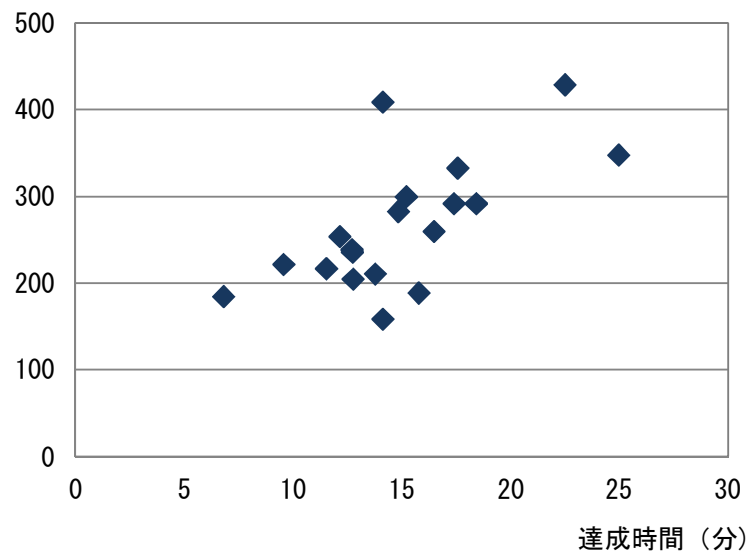



図 4. 10　達成時間とマウス操作回数

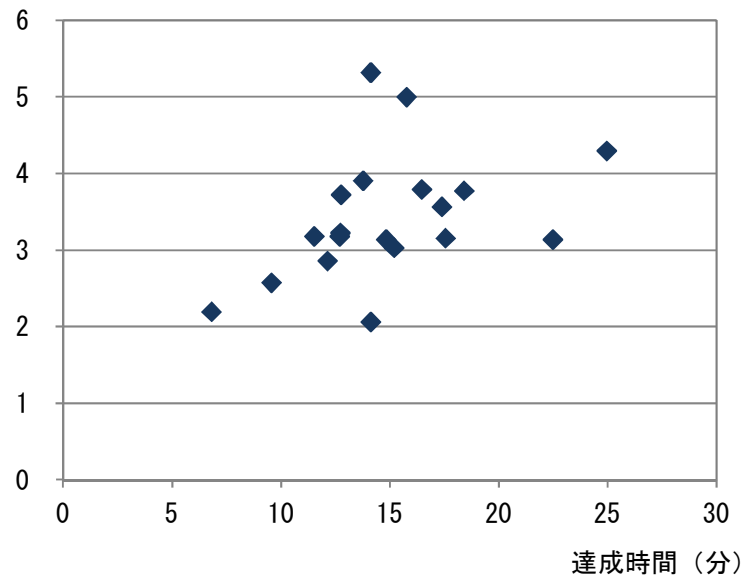



図 4. 11　達成時間とマウスの操作間隔

(2) マウスの移動距離

操作時のマウスの移動について，17 インチの画面解像度を 1024×768 ピクセルとして移動距離を求めた．その結果，平均の移動距離は 84.5mm であるが，平均値が最大の学生は 92.8mm であり最小の学生は 78.0mm である．両者には約 15mm の差があるが，マウスの移動距離について学生間に大きな差は見られない．また，縦の動きと横の動きを比較してみたところ，画面の大きさから横の方が少し移動距離が長くなっている傾向を示しているが，特に大きな特徴は見られなかった．移動距離の分布を図 4.12 に示す．移動する距離が非常に小さい 5mm 以下の場合は，同じ箇所で同じ操作を繰り返していることを示している．

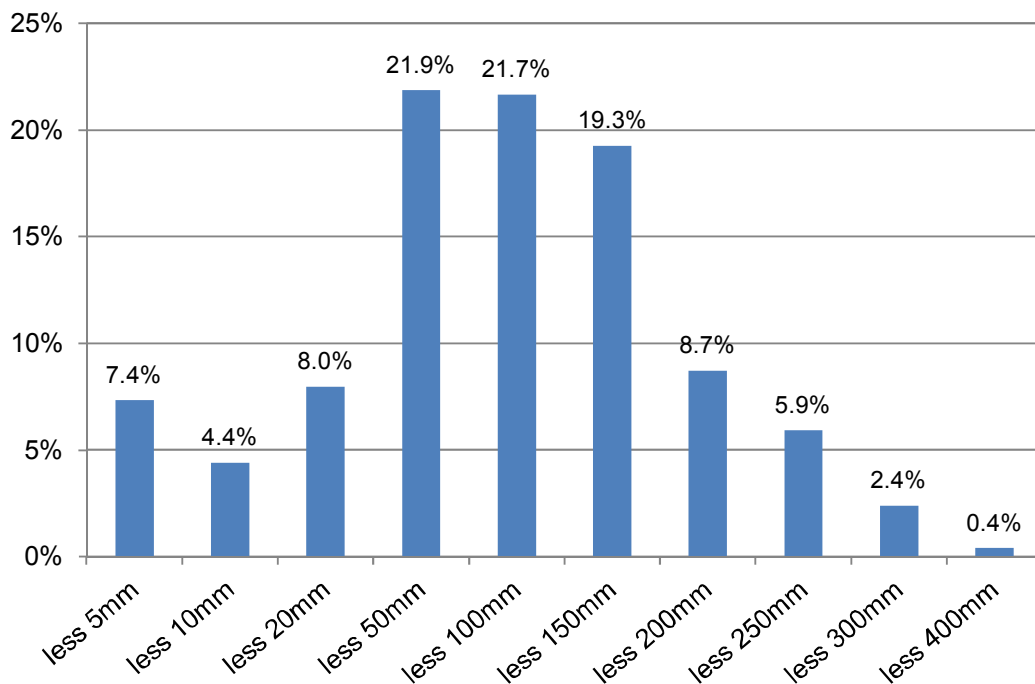



図 4.12　マウスの移動距離の分布

4.5.4 視線移動の特徴

(1) マウスのクリック数と視線移動との比較

シミュレータの操作はマウスにより行われるが，マウスの操作を行うだけでなく操作に必要なシステムの状態や操作後の状態変化の確認を行っていると考えられるので，それらに必要な画面を注視している視線の移動の頻度を求めた．ただし，先に述べた

ように，収集したデータの中から視線移動や注視が継続して観察されなかったデータを削除した．そのため，9 名のデータを分析並びに考察に用いた．

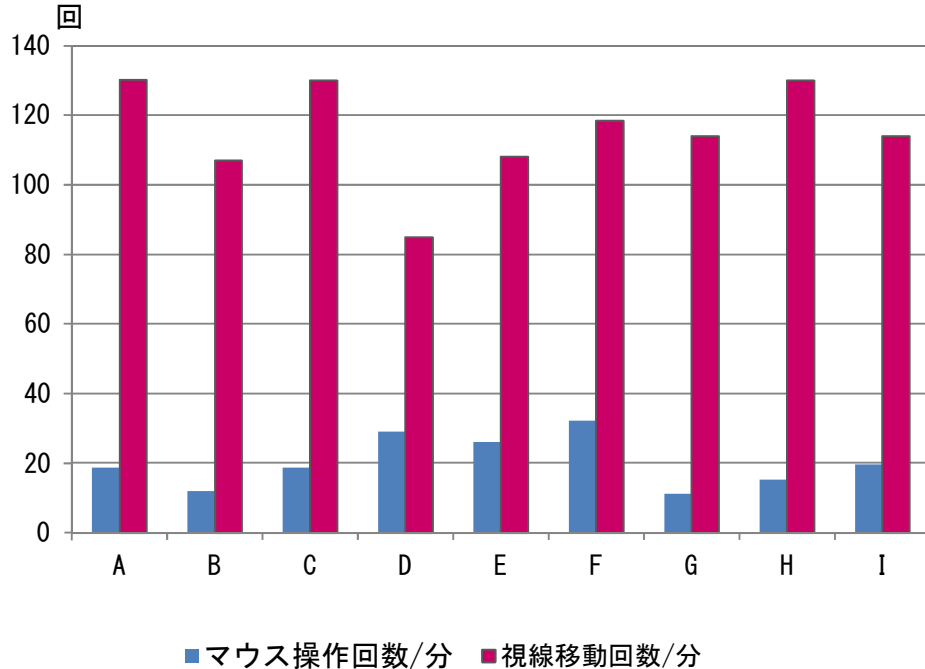



図 4. 13　画面の注視及びマウスの操作の回数

図 4. 13 に画面の注視回数とマウスの操作回数を示すが,マウスの操作回数と比較して視線移動の頻度は非常に多く，情報収集や操作確認のための注視が頻繁に行われていることが確認できた．なお，各回数は学生毎の値である．

視線移動の頻度には多少の個人差があり，視線移動を頻繁に行う学生と視線移動の頻度が少ない学生がいる．ほとんどの学生は 1 分間あたり 100 回以上の視線移動を行っている．

(2) 視線移動距離

ＰＣ版シミュレータを操作する場合，画面に表示されているグラフィック用いて操作するため，操作個所の確認や操作に必要な情報を収集するために視線は画面上を頻繁に移動している．収集された視線データから，視線移動の距離について集計整理を行った.操作画面が 17 インチ,1024×768 として視線の移動距離を求めた結果を図4. 14 に示す.

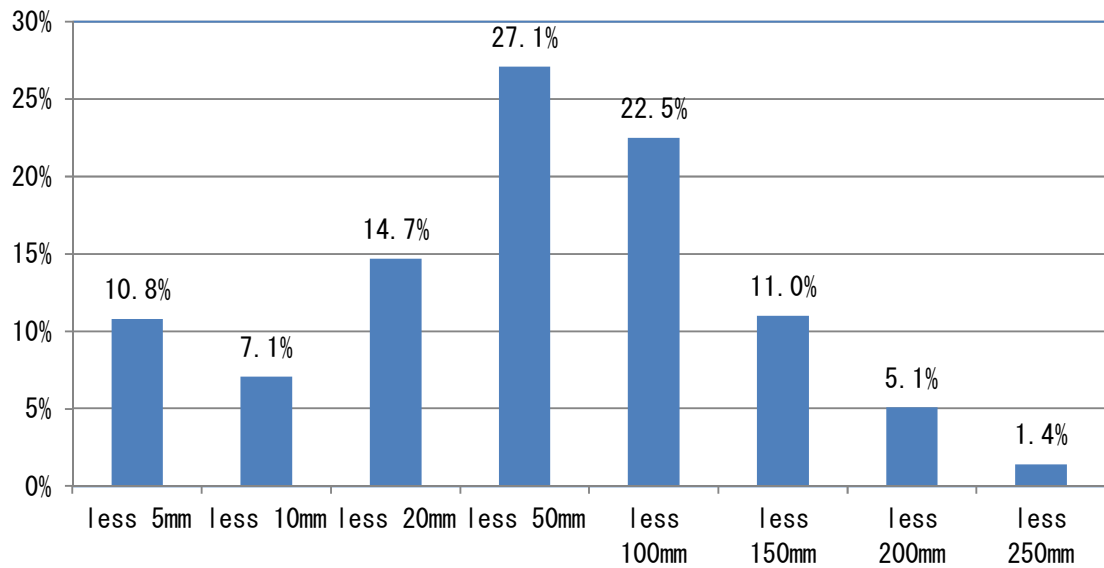



図 4.14　視線移動距離

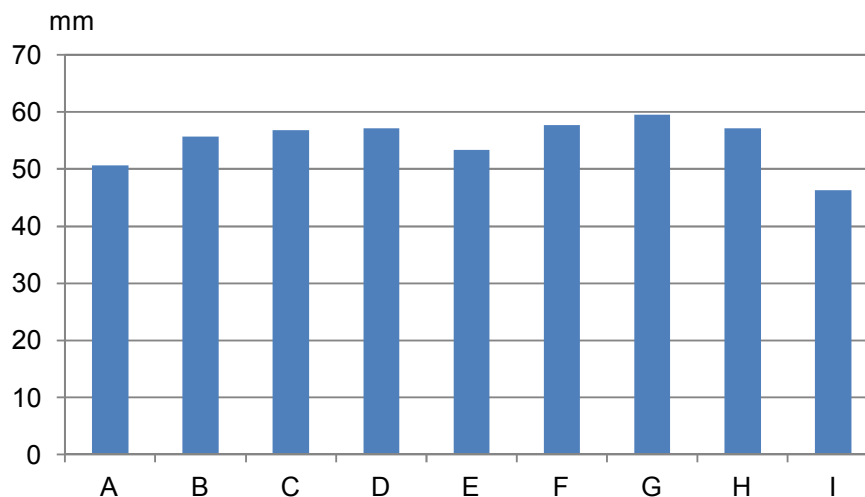



図 4.15　各学生の平均視線移動距離

学生毎の平均の視線移動距離を図 4.15 に示す．最大値を 59.5mm で最小値が 46.3mm である．マウスの平均移動距離と同様の傾向を示しているが，若干マウスよりも個人差は少ない結果となっている．

(3) 認知に必要な注視時間

学生の注視時間の分布を図 4.16 に示す．注視時間は 0.5 秒以下の割合が約 85%に達している．このことは，情報収集や確認のための注視は 0.3 秒程度であり，短時間

に認知が行われていることを示す結果となっている．ただし，マウス操作と同時に確認を行う場合は，注視時間が長くなる傾向を示している．

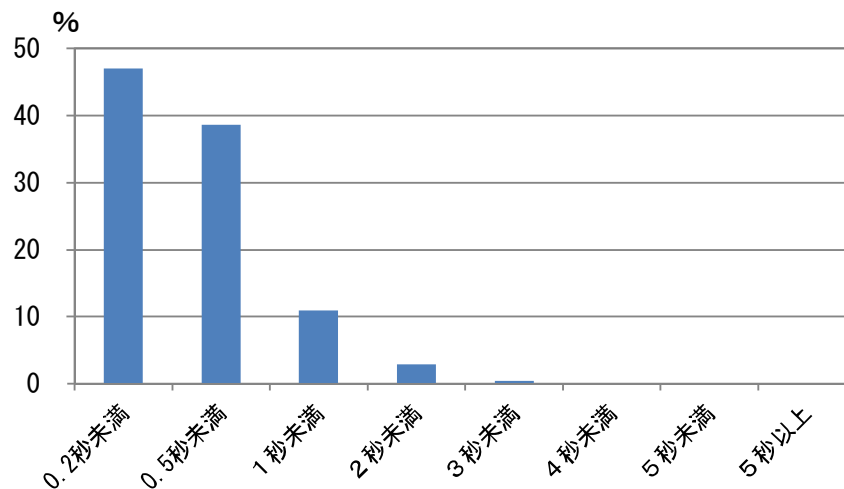



図 4.16　注視時間の分布

4.5.5 操作過程に関する考察

視線データを再現することにより，学生のマウス操作と視線移動が再現できるので，シミュレータの操作過程における振る舞いを観察した．今回は１画面で操作を行うために観察が容易な缶水循環ポンプの起動操作における注視に関して考察を行った．その結果，ビデオの観察では明らかにできなかった次のような特徴が得られた．

・ エラーを起こした学生は，マウスの操作に注意が集中し，マウスの操作に必要な箇所しか注視しない傾向を示し，操作に必要な情報収集であるシステム状態の確認や操作後のシステム変化の確認が不十分である．
・ 操作後にシステムの状態変化を確認するための注視を行う学生と操作後に確認を行わない学生に分類されるが，達成時間の短い学生は，操作結果の確認を行わないことにより時間短縮を図っている状況が見られる．
・ 操作を開始する際の注視の起点が異なるとその後の操作過程も異なる傾向を示す．
・ 学生はシミュレータの操作に習熟しているため，確認のためにラインを追いかけるような速度の遅い視線移動を行わず，視覚情報を効率的に収集するために目標へすばやくかつ正確な視線移動（サッケード眼球運動[4.13]）を頻繁に行う傾向を示す．

4.6 まとめ

第４章では，ＰＣ版シミュレータを操作するときの学生の振る舞いについて研究を実施した．システム全体の操作は基本操作エラーの組み合わせにより行われることに注目し，基本操作エラーに関して分析及び考察を行なうことにより，基本操作を減少させるための指導項目を明らかにすることができた．基本操作はさまざまな場面で行なわれる汎用性が高い操作なので,基本操作を確実に行うことができるための指導は,実際の現場操作におけるヒューマンエラーの減少に役立つとともに初期段階でのエラーの修正を可能にすることができる.また,操作エラーについてはエラーの実例から,操作に必要な基礎知識の獲得，システムに関する知識獲得，判断能力向上，メンタルモデル構築に関して支援するような指導が必要なことを明らかにすることができた．

操作エラーについては，インストラクターの指導による修正以外に自ら気づいて修正が行われている．この気づきの能力は操作エラーの減少に有効であるので，その特徴について調査した結果，次の様な点を明らかにすることができた．

(1) 未熟練者では，操作エラーの約半数が気づかれなかったように，気づきの割合は低い．

(2) 単純な操作忘れは気づく割合が高いが，行為の実行タイミングが不適切な場合や実行時間が不適切な場合は気づきにくい．

(3) 操作エラーに気づくきっかけは，警報等によって知るよりもシステムの状況確認や予想と異なった状態変化によって知る自己監視による割合が高い．

(4) 操作エラーに気づかない要因は，操作者自身が正しい操作を行っていると思い込んでいるなど，自己監視機能が働いていないために操作エラーに気づかないと考えられる．

このような結果から，シミュレータを活用した教育訓練において，インストラクターの指導すべき点が明確になった．インストラクターによる指導は個人的な知識や経験に依存しやすく，人が異なるとその指導のあり方が異なる場合があるが，これらの指導を行うことにより，インストラクターの差による教育効果のばらつきに対する改善が図られるとともにき，教育効果の向上が期待できる．

さらに，シミュレータの操作過程をより詳細に分析するため，Tobii technology 社製

の Tobii1750 アイ・トラッキングシステムを用いてマウスの操作データおよび視線測定データを収集した結果，ＰＣ版シミュレータ操作時の学生の振る舞いを多方面から解析することができ，以下の点を明らかにすることができた.

(1) マウスの操作に必要な注視以外に，情報収集や操作確認のための注視が行われている．そのための視線移動は頻繁に行われていて，マウス操作数の約５～６倍に達している.

(2) 注視箇所の認知に必要な時間は短く，0.3 秒以下の場合が多い．また，注視時間の長短が達成時間に影響を与えることがなかった.

(3) 確認が不十分なために達成時間が短い場合があり，達成時間だけで操作の習熟度を評価することは困難であり，評価にあたっては操作エラー数などの他の要素を加えることが必要である.

(4) 最初に操作するまでの時間が学生により異なり，最初の操作までの時間が長い学生は，注視しても操作を行っていないので，操作計画を立案してから操作していると推測される.

これらの結果から，ＰＣ版シミュレータを用いて機関システムの運転操作に関する手続き的知識を獲得する教育訓練を実施する場合，マウスの操作手順に関する知識を獲得するだけでは不十分であり，操作に必要な情報収集並びに操作の確認のための注視に関する指導が必要なことを明らかにすることできた.

［第４章参考文献］

［4.1］ Amit Ray, Simulator-Aided and Assessment in Reducing Human Error, 5th international Conference Engine Room Simulator，P145-168，(2001)

［4.2］ T. Nakamura, An Assessment Criterion with respect to Training the Marine Engineer as an Operator, 3rd international Conference Engine Room Simulator，P11-20，(1997)

［4.3］ James Reason, “Human Error”(1990), p13, Cambridge University Press

［4.4］ 野尻良彦他，ヒューマンインタフェース学会論文誌，メンタルイメージを利用した事故原因解析，Vol.1 No.1，P29-36，(1999)

［4.5］ 松尾 太加志，外的手掛かりによるヒューマンエラー防止のための動機づけモデル，ヒューマンインタフェース学会論文誌， Vol.5， No.1，P75-83，(2003)

［4.6］ 大山　正，丸山　康則編，ヒューマンエラーの心理学，P98，麗澤大学出版会，(2001)

［4.7］ 方 相哲， 古田 一雄， プラント運転員の知識モデルと異常時対応能力に関する研究， ヒューマンインタフェース学会論文誌， Vol.6， No.1，P113-118，(2004)

［4.8］ 古田，プロセス認知工学，P65，海文堂，(1998)

［4.9］ 日本教育工学会偏，教育工学事典，P270，実教出版，(2000)

［4.10］J.Reason(林訳)，ヒューマンエラー：認知科学的アプローチ，P110，海文堂，(1994)

［4.11］小松原，ヒューマンエラー，P17，丸善株式会社，(2003)

［4.12］Tobii Technology 社，Tobii1750　取り扱い説明書

［4.13］大野健彦，視線から何がわかるかー視線測定に基づく高次認知処理の解明，認知科学９巻４号，P565-576，(2002)

第５章　シミュレータの操作に関して時間経過が与える影響

5.1 概要

海技大学校においては，フルミッションタイプ機関室シミュレータとＰＣ版機関室シミュレータ（以下，ＰＣ版シミュレータ）を連携して用い，乗船経験の少ない学生に対して基本的な機関システムの運転操作に必要な手続き的知識の獲得や判断能力の向上を目的とした教育訓練などに活用している。そして，これまでの章でＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練における効果的な教育手法の提案やインストラクターの役割をＰＣ版シミュレータを使用した立場から明らかにした．しかしながら，教育訓練の効果については十分な検証が行なわれていないのが現状であることから，自学自習により機器の運転操作に関する知識である手続き的知識を獲得する過程の検証および獲得された操作知識の時間経過による影響について調査研究を行った．

本章では，最初にＰＣ版シミュレータを操作しながら知識獲得する過程においてどのように知識が増加していくのか調査を行った結果について述べる．また，自学自習を通じて知識を獲得する過程における困難な問題を明らかにするために行ったアンケート調査結果についても述べる．最後に，ＰＣ版シミュレータによって獲得された知識が長期記憶されている程度を検証するため，シミュレータの操作データを１年間の間隔を開けて２回収集し，ＰＣ版シミュレータの操作の振る舞いに関して時間経過が与える影響について検証した結果について述べる．

5.2 操作知識を獲得する過程に関する研究

5.2.1 操作知識を獲得する過程に関するデータの収集

(1)　操作データ収集の被験者

知識獲得過程を調査するため，海技大学校の学生 12 名（１学年）に対してデータの収集を行った．彼らに対するＰＣ版シミュレータを用いた実習授業は，前期は週１時間，後期は隔週２時間のスケジュールで実施した．彼らは３ヶ月の練習船実習を既に経験していて，基礎的な運転操作に関する知識は習得していると見なして教育訓練を

実施している．データの収集は，難易度の高いサブシステムの操作が可能な後期の授業時間中に行った．

収集したデータは，操作データ，観察データ，アンケート調査データの３種類である．各学生が行った主たる操作データは操作履歴（History Data)として各自のＰＣに蓄積されているので，操作履歴を操作データとした．なお，操作記録は操作が終了した時点でＬＡＮを用いてインストラクターのＰＣから収集することができる．操作履歴では，詳細な学生の振る舞いが記録されていないので，詳細な学生の振る舞いを観察するため，最終評価における学生の操作の様子をビデオに記録して観察データとした．これらの客観的データに加えて，自学自習に対する問題点及び自学自習を阻害する要因を明らかにするためのアンケート調査を行い，主観的なデータとした．アンケートは主として両極５段階の項目得点平均及び項目選択で行った．

(2) 調査データの内容

データの収集を行った操作データは,主機関の操作である.操作シナリオの内容は,停泊状態から主機の暖機及び運転準備作業，そして試運転を実施するという一連の出港準備作業である．操作全体で約 80 の操作となっている．操作データの一部を表 5.1 に示す．

表 5.1　学生の操作データの一部

Time	Operation Equipment	Condition
13:49:09	NO.1 CAM L O BOOST PUMP	RUN
13:49:10	NO.1 MAIN L O PUMP	RUN
13:49:10	PISTON COOL OIL NON-FLOW	NORMAL
13:49:10	MAIN L O INLET PRESS	NORMAL
13:49:10	PISTON COOL OIL INLET PRESS	NORMAL
13:49:10	CAM SHAFT L O INLET PRESS	NORMAL
13:49:30	NO.1 MAIN COOL F W PUMP	RUN
13:49:30	COOL F W INLET PRESS	NORMAL
13:49:37	IND COCK	OPEN
13:49:37	PRIMING	ON
13:49:39	TURNING MOTOR	RUN
13:50:38	NO.2 DIESEL GENERATOR	RUN
13:51:05	NO.2 D/G ACB	CLOSE

記録されている内容は，操作した時間である Time と操作した機器の名称である Operation Equipment，機器の状態変化である Condition の３項目であった．なお，警報の有無は Condition の項目に示されている．

また，ＰＣ版シミュレータの操作はマウスを用いて行うため，学生の振る舞いの記録として学生が操作している画面を１人ずつビデオに記録した．そして，ビデオを再生してマウスの動きを逐一確認することにより学生の操作をチェックした．チェックした項目は操作データとして記録されない操作を中心に行った．

アンケート調査の内容は，ＰＣ版シミュレータの実習を終了した時点で行い，質問の内容は，ＰＣ版シミュレータの操作方法，学習意欲，学習方法，学習効果に関するものである．

5.2.2　操作知識を獲得する過程の分析と考察

収集した操作記録のデータに基づき，学生が自学自習により手続き的知識を獲得する過程において，訓練回数が増加するに従いどのように向上して行くのか，操作エラーの減少に着目して検討を行った．また，アンケート結果に基づき，自学自習の教育効果に影響を与える要因について検討を行った．

(1) 知識獲得による操作エラーの減少

データの収集を行った主機関の出港準備作業において，目標の操作を達成するには約 80 の操作が必要である．この操作に関する知識を獲得する過程における操作エラーについて検討を行った．なお，主機関に関しては合計 10 時間の訓練を実施し，訓練の初期，中期，最終評価時における誤りの件数を表 5.2 に示す．なお，後期は約 6 カ月なので約 2 カ月間を初期，中期，評価時に分割した．

初期は主機関の操作の概要を説明した後，テキストを参考に各自で知識獲得のための操作を行った時のデータを用いて求めた値である．中期は，各自の間違いを正すためにインストラクターが標準的な操作手順を提示した後に操作したデータを用いて求めた値である．評価時は，学生の目標達成度を確認するために評価を行った時点のデータを用いて求めた値である．

表 5.2　操作エラーの件数及び達成時間

	初期	中期	評価時
操作エラーの件数（平均）	5.3 件	3.5 件	2.0 件
警報の件数（平均）	4.8 件	1.7 件	0.8 件
達成時間（平均）	38.3 分	22.3 分	12.8 分

初期の段階は誤りの件数が多いだけでなく，テキストを参考に操作を行うので，達成までの時間が長くなる傾向を示している．また，機器の関係については，機能的なつながりよりも位置的なつながりの方に注目する傾向が見られ，そのことによる操作エラーもある．

中期の段階では，ほとんどの学生がテキストを必要とせずに操作を行っていて，誤りの件数と達成時間の両方とも減少している．ある程度誤りが少なくなると，テキストを参考とせずに自分で考えて操作する傾向が見られるが，さらにエラーの件数を減少させるためにはインストラクターの指導が必要である．

評価時は，エラーの件数が減少するとともに，達成時間も大幅に短縮し，システムに影響を与える警報の発生はほとんど見られなくなっている．従って，評価時において学生はスムーズな操作が可能なレベルに達していると判断できる．

(2) 手続き的知識獲得の難易度

船舶の機関室内には多くの機器が設置され，運転操作を円滑に行うには，手続き的知識が必要である．シミュレータは 12 のサブシステムから構成されているため，サブシステム毎の教育訓練が可能である．主要なサブシステムについて，難易度の最も高いサブシステムを１として順番に番号をつけるアンケート調査を行った．そして，各自の難易度の数値の合計を人数で割ったものをそのサブシステムの難易度の平均値とした．その結果を表 5.3 に示す．予想通り主機関の難易度が最も高い結果となったが，ほぼ同様の難易度を補助ボイラが示している．

難易度の高いものの方が手続き的知識の獲得が困難と推測できる．このことは，主機以外のサブシステムについて行った他の 10 名の学生に対する調査において，ターボ発電機の運転，ディーゼル発電機の運転，ボイラ汽譲操作の達成時間を計測したところ，平均時間は 9.2 分，8.5 分，24.6 分となり，操作目標達成の点からもボイラの難易度が高いことが示されている．その理由は，判断が求められる状況が多いこと，手

続きの順番がシーケンシャルなため，操作を間違えると操作が継続できないことである．また，難易度が高くなると，学生が希望する知識獲得に必要な訓練回数も増加する結果となっている．ただし，難易度が高いターボ発電機よりディーゼル発電機の方が必要な教育訓練の希望回数が増加しているのは，ディーゼル発電機の方がより多くの船舶で使用されているので，学生はディーゼル発電機の方がより重要な機器と考えたために教育訓練の希望回数が増加していると考えられる．

表 5.3　サブシステムの難易度

サブシステム名	難易度の平均値		難易度が最大とマークした学生の数	知識獲得に必要な教育訓練の希望回数(平均)
	難易度合計点/人数	平均値		
主機	２２/１２	1.83	６人	５．８回
補助ボイラ	２５/１２	2.08	５人	５．５回
ターボ発電機	３６/１２	3.00	１人	３．７回
ディーゼル発電機	３９/１２	3.25	０人	４．２回
空気圧縮機	５８/１２	4.83	０人	２．９回

(3) 誤った知識の獲得

知識を獲得する教育訓練において操作エラーは多数発生している．その原因について操作記録から推測してみると，基礎的知識の不足や判断ミスと考えられるものが多い結果であった．

しかしながら，学生のアンケートからは，知識が獲得されていない状態である知識不足より，知識を忘れたことが誤りの原因と考える傾向が示されていた．また，単純なミスについては自分で気づき修正を行っているが，気づかないエラーについては修正が困難であった．

操作エラーについて，出港準備作業をＬＯ系統の作業，主機のターニング，清水系統の作業，燃料系統の作業，運転準備作業，試運転作業に分類して集計を行った．各学習時期において発生件数の多いエラーについて集計したものを表5.4に示す．

表 5.4　各学習時期におけるエラー発生件数

操作群	初期	中期	評価時期
ＬＯ系統の作業	５件	１１件	５件
主機のターニング	３９件	１３件	５件
清水系統の作業	５件	４件	１件
燃料系統の作業	１件	１件	１件
運転準備作業	５件	８件	６件
試運転作業	９件	４件	３件

主機のターニングにおける操作エラーの件数が非常に多い．主機のターニング作業をインジケータコックを閉めたままで行うと操作の間違いを気づかせるために警告が発せられるが，初期の段階では原因追及を行わずに同じ操作を繰り返したことによる操作エラーの件数増加が原因である．間違った操作を行ったことによる警告と認識することができなかったことにより，自分の操作の間違いに気づかないために操作を繰り返したことによる．６回繰り返した学生が最大であった．操作の繰り返しは他の操作でも見られるので，これらを無くすためには，警報（警告）に関する知識を与えるとともに間違いの原因を追及する能力を高める指導が必要である．

表 5.5　操作エラーの内容

操作エラーの内容	初期	中期	評価時
カムＬＯポンプを最初に運転	４件	４件	４件
インジケータコックを閉のままターニングを行う	６件	３件	１件
インジケータコックを閉のままターニングを繰り返す	１３件	０件	０件
ターニングギヤの勘合と離脱を繰り返す	４件	０件	０件
インジケータコックの開閉を繰り返す	４件	３件	０件
インジケータコックの閉鎖時期の誤り	６件	２件	３件
補助ブロワーの運転せずに試運転	３件	３件	０件
マニュアルストップ	４件	０件	０件
エアランを行わない	３件	２件	０件

全体的な傾向として，訓練回数が増加するとエラーの数は減少してきているが，ＬＯ系統についてだけ，中期に最大の発生件数を示している．これは，単純ミスで誤ってポンプを停止したことや起動したことがその要因である．初期は，テキストを参考に慎重に操作しているので，操作エラーの発生件数が少なかったものと考えられる．

具体的な操作エラーで件数の多い操作について，学習時期における違いを表5.5に示す．初期の段階で多かった操作エラーも，自らの気づきやインストラクターの指導により評価時には減少している．ただし，操作エラーを行ってもシステムに影響を与えない操作エラーについては最後までエラーが無くなっていない．また，インストラクターが学生の間違いを把握できなかったために指導が行われず，エラーが無くならなかった場合もある．

(4) 自学自習で知識獲得が困難な事項

学生の振る舞いをビデオで記録し，操作履歴では明らかにならなかった操作エラーについて分析を行った．マウスによる操作は，簡単に操作できる特徴がある反面，画面の各機器のつながりに基づいて左から右（あるいは右から左）へ操作する事が見られる．操作エラーにより警報が発せられた場合は誤りに気づくのでエラーの修正は容易であるが，警報を発しない小さな誤りの修正の方が困難である．つまり，以下に示す最終段階におけるエラーは自学自習で知識の獲得が困難であり，エラーの減少にはインストラクターの指導が必要であると考えられる．

- 機器の機能を無視（一方向の操作を行う）
- 時間の概念が少なく，操作のタイミングの間違い．
- 弁の開け忘れ（系統の知識不足，操作ミス，確認の忘れ）
- 警報の処理ができない
- 主機の各操縦位置における操作の条件がわからない

5.3 学生の振る舞いに関して時間経過が与える影響

機関系の海事教育の分野に機関室シミュレータが導入され，海技大学校においても乗船経験の少ない学生に対して基本的な機関システムの運転操作に必要な手続き的知識の獲得や判断能力の向上を目的とした教育訓練などにＰＣ版シミュレータを活用している．

そこで，ＰＣ版シミュレータの教育訓練により獲得された操作知識の定着性に注目し，教育訓練の成果に関して調査研究を行った．そのため，２年間にわたりＰＣ版シミュレータの操作データを収集した．そして，運転操作における学生の振る舞いの結果であるこれらのデータを分析して，目標達成時間，操作エラー，そして画面操作について時間経過による影響を明らかにした．

5.3.1　時間経過による影響の検証を目的とした操作データ収集

(1) 操作データ収集の被験者

シミュレータを用いて機関システムの運転操作データの収集を行なった被験者は海技大学校の学生 14 名であり，約 40 時間のシミュレータを用いた教育訓練を体験し，操作に十分習熟している１年生後期の２月に１回目のデータ収集を行った．この時のデータを１年生の時の操作記録データ（以下，１年次）とする．

２回目のデータ収集は，乗船実習を終えて座学を受講している１年後のほぼ同時期である翌年の２月の放課後または授業の空き時間に行った．この時のデータを２年生の時の操作記録データ（以下，２年次）とする．従って，同じ操作目標を達成するシミュレータの操作を１年後に行っている．その間は練習船において機関システムである機関室内各機器の基本的な運転操作を行っているが，シミュレータの操作は全く行っていない．そのため，両者のデータには約１年間の時間経過並びに９ヶ月の乗船経験の違いがある．

(2) 操作データの収集方法

機関システムの運転操作データの収集に用いた tobii technology 製の Tobii1750 アイトラッキングシステムは，眼球に近赤外線の点光源を照射し，網膜の反射をカメラで撮影し視線を算出する方法であり，ディスプレイ下部には両側から近赤外線を両眼に照射してその反射を中央のカメラで撮影する視線測定装置が組み込まれている．

操作データは操作画面の変化と視線の移動の変化に分けて記録され，再生時に合成されて画面に表示される．従って，操作画面のマウスの動きや操作画面の変化もデータとして記録される．また，マウスの操作やキーボードの操作も記録された．今回の分析では，視線データと操作画面の記録データ及びマウスの操作記録を用いている．

同システムを用いることにより，過去に行なったビデオカメラによる操作画面の録

画画像から操作時の振る舞いを分析する手法と比較して，学生の操作画面が非常に鮮明なこと，学生の姿が映ることによる画像の欠損がないこと，時間のコントロールが容易なことなどから，収集したデータの分析が容易かつ正確となっている．

収集したデータはシミュレータ実習の最終段階で行っている主機を中心とした機関システムの運転操作で，停泊状態から出港までの一連の操作であり，主たる作業は主機の暖機作業及び試運転，そして出港準備作業である．なお，分析に当っては１年次と２年次の両方の有効データを収集できた 12 名の学生の操作記録データを使用した．

5.3.2　時間経過による影響についての考察

(1)　目標達成時間

ＰＣ版シミュレータの運転操作に関するデータ収集において，主機の暖機作業，機関室・制御室及び船橋での主機試運転，そして出港準備作業までの一連の運転操作が完了する時間を目標達成時間と定めた．目標達成時間の分布を図 5.1 に示す．１年次と比較すると２年次は目標達成時間の最頻値が 20～25 分と長くなり,その平均値は１年次約 14 分，２年次は約 21 分である．従って，1 年間の時間経過により目標達成時間 1.5 倍に増加している．

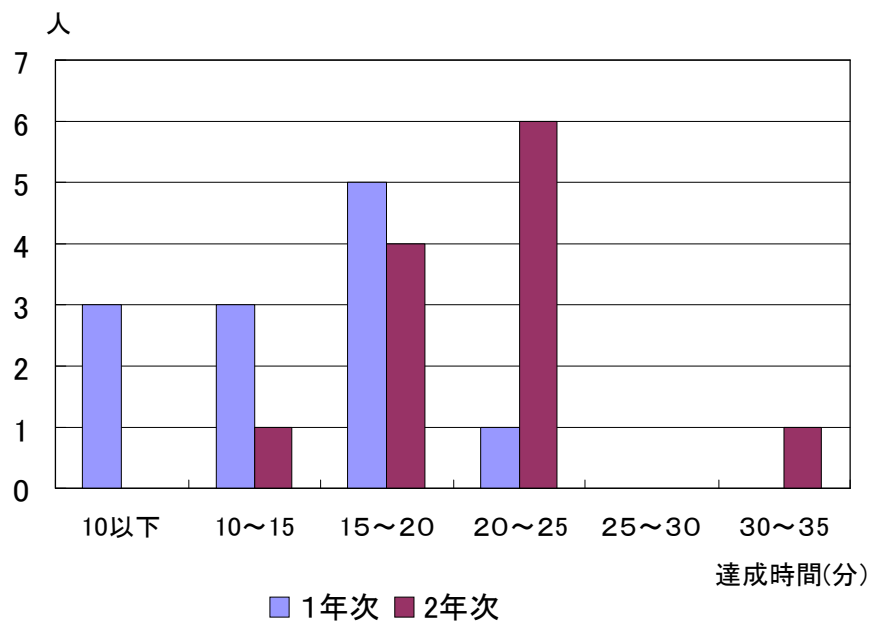



図 5.1　目標達成時間の分布

このように，１年間の時間経過により２年次において目標達成時間が増加した理由として，長期記憶されている機関システムの操作手順に関する知識を思い出しながらシミュレータの操作を行なったことによるものと考えられる．つまり，長期記憶の場合，時間の経過とともに記憶の検索や照合に時間がかかることによるものである[5.1]．ただし，１年後の達成時間が僅かに短縮した学生が１人いた．その理由として，１年次の達成時間が全学生の中での最長時間であったため，２年次の達成時間の方が僅かに短縮された結果である．

同じ学生に関して１年次と２年次の目標達成時間をまとめたものを図 5.2 に示す．目標達成時間の増加については個人差が大きく，１年次並びに２年次ともに目標達成時間にばらつきが生じている．

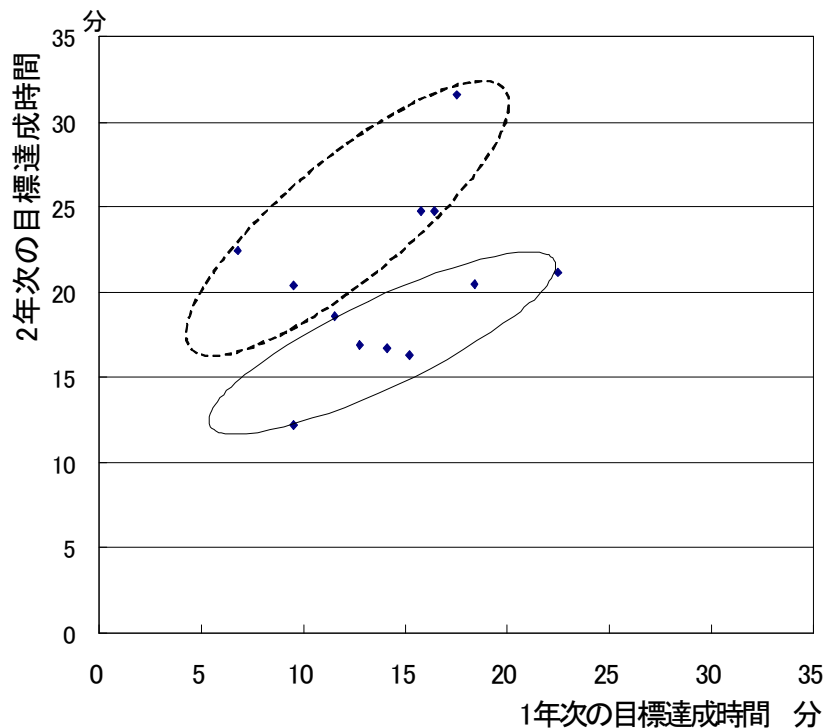



図 5.2　目標達成時間の比較

図 5.2 の破線で囲ったグループは１年次と２年次で平均値（1.5 倍）以上に操作時間が長くなっている学生群であり，実線のグループは操作時間の増加が平均値以下である学生群である．後者の学生については，機関システムの操作知識を長期記憶として定着していた確率が高く，記憶の検索や照合において１年次と２年次の差が少なか

ったと考えられる.

１年次に達成時間が最短の学生が，乗船後の２年次の達成時間の増加割合が最大となっている．これは，シミュレータの操作に慣れたために，本来考えながら操作すべきところ,操作にバイパスが生じていたために1年次の目標達成時間は非常に短くなったが,時間の経過により操作の慣れによる時間の短縮が無くなったもの[5.2]と考えられる．操作に慣れすぎた操作は，時間の経過とともに長期記憶の検索に時間を要することによる.

つまり，記憶が思い出される確率は意味内容によって構造化された記憶内容と検索キーとに関連しているので，時間経過による影響を少なくするためには，操作知識が構造化された知識として長期記憶されるような指導が必要である[5.3].

(2) 操作エラー数

長期記憶として記憶されている機関システムの操作知識の消失が操作エラーに影響すると考えられるので，各学生の操作エラーについて比較を行なった．その結果を図5.3に示す.

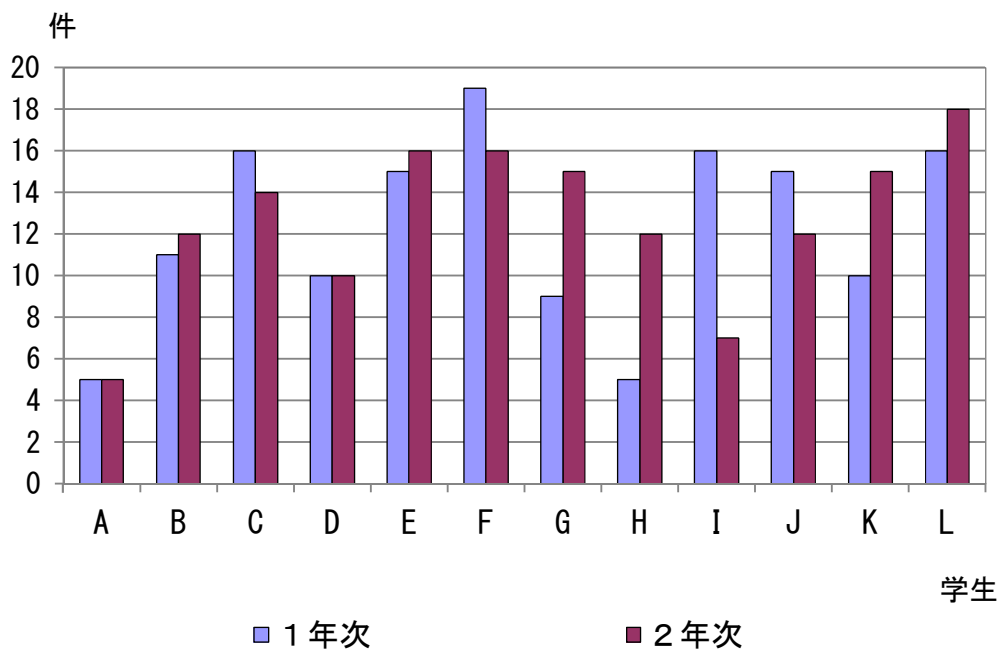



図 5.3　操作エラー数

操作エラーが増加した学生６名，操作エラーの増減が無かった学生２名，操作エラ

ーが減少した学生４名となり，エラーが増加した学生とエラーが同数若しくは減少した学生の数が同数となった.従って,平均の操作エラーは１年次 12.25 回,２年次 12.67 回となり，操作エラーに関しては時間経過による影響は少ない.

１年後の操作においても操作エラーはほぼ同数であり，機関システムの操作知識は長期記憶として保存されている割合が高いことを示している.

また，操作エラー数の分布は図 5．4 に示すように，１年次の操作エラー数は幅広く分布しているが，２年次の操作エラー数は平均値付近に集中している．1 年次にエラーの少なかった学生はエラー数が増加し，エラー数の多い学生は反対に減少したことによるものと考える.

その要因として，乗船実習により機関システムの運転操作に関する知識や経験が新たに加わったことにより，操作エラーが減少したものと考えられる．その他，乗船実習において同様の機関システムの操作を行なったことがシミュレータにおける運転操作のリハーサルの役目を果たしたこともエラー減少の要因として考えられる[5.4]．

これらの結果から，シミュレータを用いた教育効果により獲得された機関システムの操作知識が長期記憶としてある程度定着していることが検証できた．このことは，長期記憶の特長である時間の経過に伴う情報の減衰はみられないとされているという仮説に近い結果となっている[5.5].

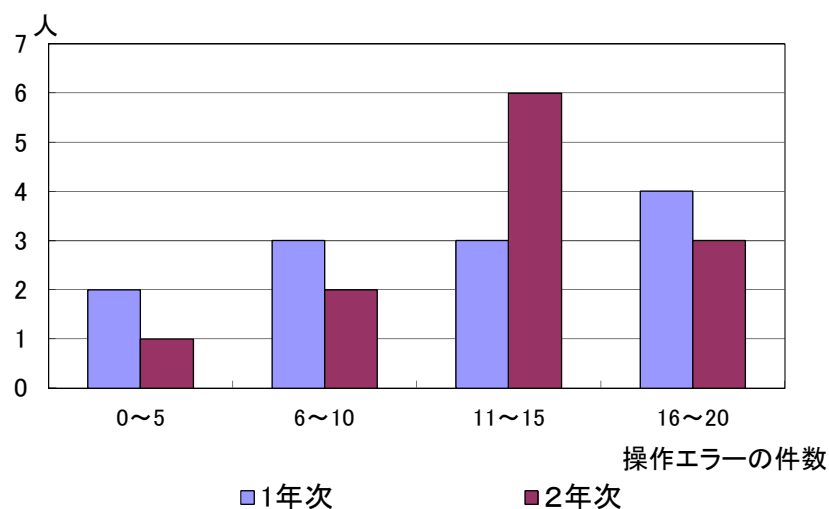



図 5.4　操作エラー数の分布

(3) 操作エラーの種類

操作エラーに関して，時間経過よる影響について操作エラーの件数に加えて，ヒュ

ーマンエラーの観点から検証を行なった．ヒューマンエラーの分類にはさまざまな手法があるが，本研究では学生の行為に注目して人間信頼性解析手法の THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) で用いられている観測された表面的形態によって１年次と２年次の操作エラーを分類した[5.2]．その結果を表 5.6 に示す．オミッションエラーとは必要な行為を実行しなかったエラーであり, コミッションエラーとは行為は実行されたが表に示された５つの点で誤っているエラーである．

このように，操作時のエラーについて集計を行なって比較したところ，２年次の方が，少しコミッションエラーの割合が高くなっているが，エラーの分類においては大きな違いは見られなかった．操作エラーに関しては両者ともに，操作確認が十分に行なわれていないためのエラーが多く，長期記憶として確実に定着するためには，操作に直接関係する操作知識に加えて，確認を行なうために必要な知識を獲得させる指導が必要なことを示している．従って，時間経過後も正しい操作が行なわれるには，操作手順を記憶する時点において，正しいメンタルイメージの生成を考慮した操作手順に関する知識，操作前後に参照すべき事項などの獲得が必要である．

表 5.6　操作エラーの種類

エラーの種類	１年次		２年次	
	件数	％	件数	％
オミッションエラー	５１	３４	３８件	２６
コミッションエラー	１０１	６６	１０９	７４
・必要でない行為をする	３２	２１	３７	２５
・行為の実行順序の間違い	１９	１３	２７	１８
・行為の対象，条件などを間違えた	１７	１１	１３	９
・行為の方法，実行時間が適切でない	２９	１９	２８	１９
・行為の繰り返し	４	３	４	３
合　　　計	１５２	１００	１４７	１００

また，１年次と２年次に発生する操作エラーに関して，同一エラーの件数について整理したものを図 5.5 に示す．横軸は各学生をアルファベットで示したもので，縦軸はそれぞれの学生が行なった, 同じ操作エラーと異なったエラーの平均件数を示している．各学生の１年次に発生したエラーと同じエラーを２年次に発生する割合は少なく, 同じエラーの操作を行なった件数は 31 件にとどまり, 操作エラー全体に占める割

合は約 20%である．ただし, 多少の個人差があり，同一の操作エラーが生じる割合は８%から 40%となっている．なお，異なったエラーの平均数は１年次の操作エラー数と２年次の操作エラー数の平均である．また，同じエラーが生じる要因を明らかにするため，操作エラーの分類と同様のカテゴリーで同一のエラーを整理した．その結果を表 5.7 に示す.

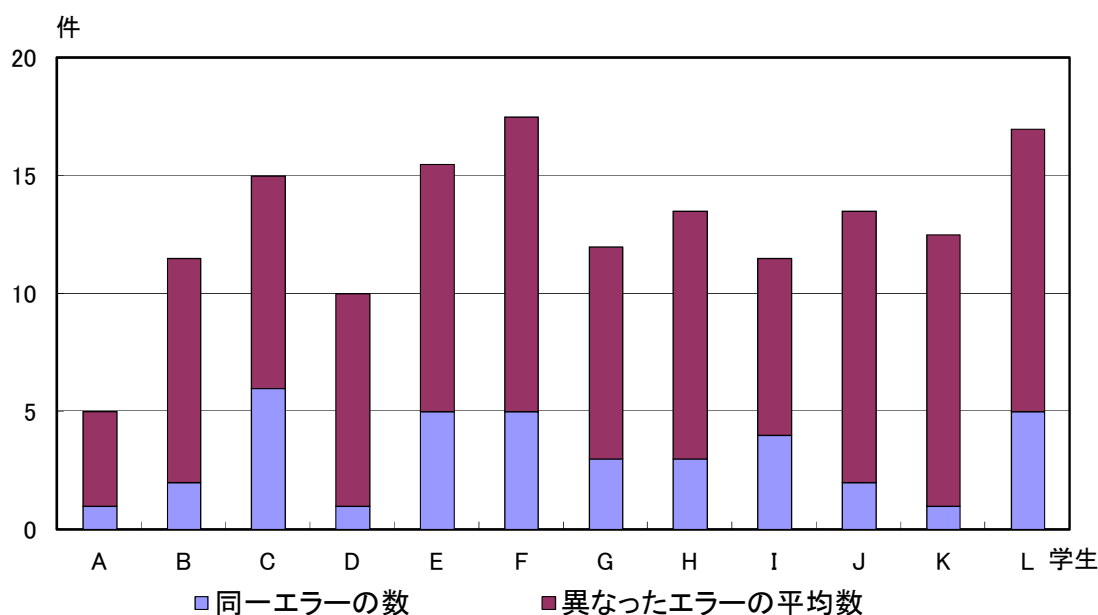



図 5.5　同じ操作エラーを行なう割合

表 5.7　同じ操作エラーの種類

エラーの種類	同じ操作エラー	
	件数	%
オミッションエラー	５	１６．１
コミッションエラー	２６	８３．９
・必要でない行為をする	８	２５．８
・行為の実行順序の間違い	１０	３２．３
・行為の対象，条件などを間違えた	４	１２．９
・行為の方法，実行時間が適切でない	４	１２．９
・行為の繰り返し	０	０．０
同じ操作エラーの合計	３１	１００．０

同じ操作エラーとしては，実行順序の間違い及び出港時は燃料としてＡ重油を使用しているのに航海中と同様に加熱するという操作エラーや冷却清水ポンプを起動する

前に清水加熱を行なうことなどの必要でない行為をする操作エラーが数多く見られる．このことから，同じ操作エラーを行なう原因として間違って記憶していることが考えられ，間違って記憶された場合にも時間経過の影響を受けないことを示している．

(4) 画面の注視

機関システムの運転操作はシミュレータの画面を用いて行なうので，操作する際にどの様に画面注視を行なっているのか，視線データを用いて分析を行なった．なお，十分な視線データを収集できなかった学生のデータを削除したので有効データは 10 名の学生である．1 年次と 2 年次の注視時間の比較を図 5.6 に示す．

平均注視時間について，２年次の方が長くなった学生が 7 名，同じ学生 1 名，短くなった学生２名である．このことは，機関システムの操作にあたり，２年次の方が操作の確認や操作方法を思い出すためにより長く画面を注視していることを示している．１年次より２年次の方が目標達成時間が増加した要因として，平均注視時間の増加がその一因となっている．

また，注視する回数については，視線データが確実に収集されているデータだけを使用したので５人のデータとなったが，１分間あたりの平均視線移動回数は，１年次は約 116 回，２年次は 136 回である．

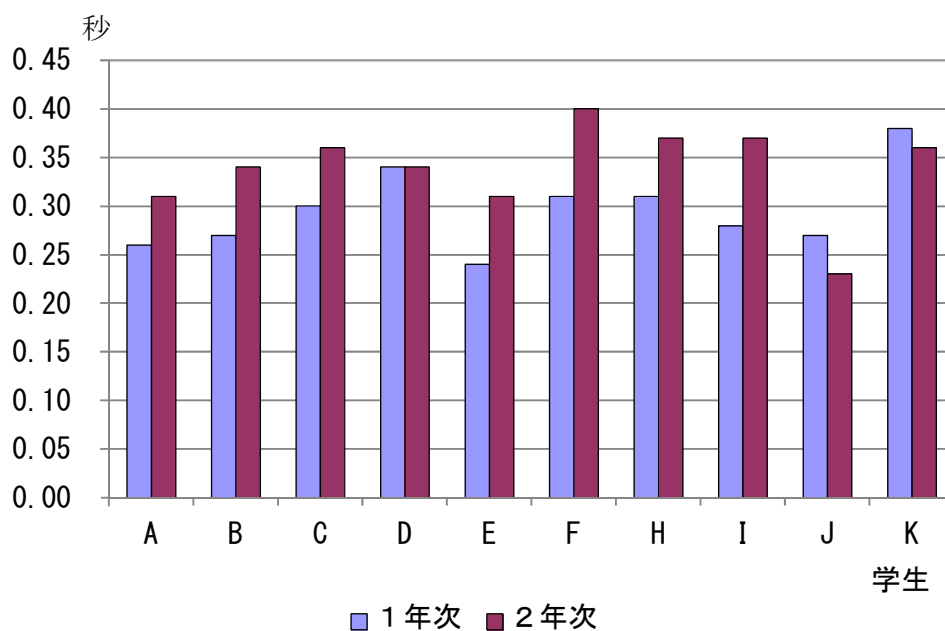



図 5.6　平均注視時間の比較

つまり，２年次におけるシミュレータの操作では，操作はしていないが機関システムの各機器の状態確認や次の操作を確認するために頻繁に視線移動を行う振る舞いが見られ，これらの行動も目標達成時間やマウスの操作回数が増加した要因となっていると考えられる.

5.4 まとめ

ＰＣ版シミュレータを活用した自学自習を効率的にする目的で調査を行い，教育効果の一指標として学生が知識を獲得していく過程におけるエラーに着目して考察を行った．その結果，教育効果に与える要因について，次のような特徴が得られた.

(1) 教育訓練を通じて知識が獲得されていく過程で，訓練回数が増加すると，誤りの件数と達成時間の両方とも減少している.

(2) サブシステムの難易度は主機関が最も高かったが，難易度が高くなるほど十分な知識を獲得するのに必要な教育訓練回数として学生が希望する回数が増加している.
補助ボイラの難易度が予測したより高かったが，難易度が高くなる原因は，操作数並びに操作における判断数が増加していることが考えられる.

(3) 操作エラーの原因は，手続き的知識の不足や判断能力の不足と推測されるが，学生は操作手順を忘れたことが原因と考えられる.

(4) 自学自習において獲得が容易な知識と獲得が困難な知識がある.

(5) 警報を発しないエラーは修正が困難であり，インストラクターによる指導が必要である.

また，教育訓練の成果の継続性を検証するため，ＰＣ版シミュレータの操作データを１年間の間隔を開けて２回収集して，シミュレータを用いた教育訓練により獲得された機関システムの運転操作に関する知識の時間経過による影響を考察し，以下に示す点を明らかにした.

(1) シミュレータを用いて同じ操作目標を達成する操作を１年後に行なった場合，約

1.5 倍の時間が必要となる結果となった．その要因として，ＰＣ上でのシミュレータ操作の慣れが時間経過とともに失われたこと及び長期記憶の検索に要する時間が長くなったことが考えられる．

(2) 時間経過による操作エラーの増加は見られなかった．従って，機関システムの運転操作の操作知識は長期記憶としてある程度定着していると推測でき，ＰＣ版シミュレータの教育訓練効果の継続性を確認することができた．

(3) １年後にも同じエラーを起こす割合はそれほど高くなく，同じエラーを犯す場合は実行順序のエラーの占める割合が高く,間違って記憶されたことが考えられる．このように，間違った教育効果も継続される可能性があるので，最初に記憶される段階で正しく記憶されるような指導が必要である．また，目標達成に直接的に関係するＰＣ版シミュレータの操作知識だけでなく，実際のシステム操作に役立つようにメンタルイメージが生成されることを考慮した指導が必要である．

(4) 操作時の振る舞いとして，１分間あたりの視線移動回数や注視時間は２年次の方が長くなる傾向を示した．このことは，時間経過とともに，長期記憶されている操作知識を思い出すための手がかりとなる情報を得る行動や記憶とのマッチングを行なっていると考えられる．これらの行動により，操作目標を達成する時間が長くなる要因ともなった．

以上の結果から，シミュレータを用いた機関システムに関する基本的な運転操作知識は，長期記憶にとどまっている可能性が高いことが明らかになり，シミュレータによる教育訓練効果の継続性並びに有効性を明らかにすることができた．

更なる教育訓練効果の向上を図るため，正確な長期記憶，操作の確認に関連する知識の記憶などを確立するための指導法の改善が必要である．加えて，シミュレータの操作に慣れるのではなく，時間経過後もスムーズに操作できるように，宣言的知識である意味内容の知識も同時に獲得してメンタルイメージの生成が容易となるような指導法の導入が必要である．

また，２年次において操作エラーが減少する学生が見られることから，練習船実習と連携して機関システムの運転操作知識をより確実な長期記憶として定着されるような教育システムの確立も望まれる[5.5]．

［第５章参考文献］

[5.1]　古田一雄著，プロセス認知工学，P15，海文堂，(1998)

[5.2]　エリック・ホルナゲル著，古田一雄監訳，認知システム工学，海文堂，(1996)

[5.3]　日本教育工学会編，教育工学辞典，実教出版，P135，(2000)

[5.4]　大野健彦，視線から何がわかるかー視線測定に基づく高次認知処理の解明，認知科学９巻４号，P565-576，(2002)

[5.5]　橋本誠悟，「機関系シミュレータの機能と活用」練習船実習との連携活用の視点，マリンエンジニア学会誌 Vol. 43, No.3，P26-32，(2008)

第６章　機関部品の熱応力破壊に関する研究

6.1 概要

ＰＣ版機関室シミュレータ(以下，ＰＣ版シミュレータ)を用いて教育訓練を実施しているが，ＰＣ版シミュレータが得意な分野とシミュレータでは十分に対応できない分野がある．特に，修理を行うなどの保全作業は実際の機器で行わなければならないので，シミュレータの最も苦手とする分野である．そのため，外国ではシミュレータとは別に保全作業を目的とした実機をシミュレータと一緒に設置している海事教育機関もある．我が国では，予算等の関係から大型の教育訓練設備は少なく，保全等に関する実習は学内における機関実習や航海訓練所における乗船実習において主として実施されている．

また，ＰＣ版シミュレータにおいて故障が発生した場合，正しい対応操作を行うには正しい故障原因を発見しなければならない．そのため，未熟練者である学生が正しい故障原因を推測できるようにＰＣ版シミュレータでは故障診断の学習支援を行うシステムを組み込んでいる．

実際の機関システムの運転中に，各シリンダの最高圧力が不揃いになったり，あるシリンダだけ圧力変動したり，最高圧力が低下するなどの異常が生じたときには，故障原因として燃料高圧管のき裂やシリンダライナのき裂を発見しなければならない．しかしながら，そのき裂がなぜ起こるのかという真の原因に関して，さらに深く追求するということは困難である．

そこで，シミュレータを用いた教育訓練を発展させるため，運転操作手順に関する知識の習得や故障時の対応訓練に加えて，なぜそのような損傷が発生するのか，真の原因追及まで行うことができる機能を追加することにより，機関システムに関する総合的な教育訓練がＰＣ版シミュレータで実施できるように改善を図ることとした．

何故なら，ＰＣ版シミュレータは汎用性の高いＰＣに機関室シミュレータのソフトをインストールしているため，ＰＣの持っている図や動画などの情報提示の機能を活用すれば，容易に機能追加が可能なことによる．また，最

近ではＰＣの処理能力が著しく改善されたために，ＰＣ版シミュレータにおいて３Ｄや操作機器の図の拡大など[6.1]のグラフィックの改善については進んでいるが，故障原因追及や機関損傷に関する機能向上については現状では不十分と考えられる状況である．

その第一段階として，主機関を構成しているシリンダやシリンダヘッドのき裂発生の原因である熱応力について理解することができる機能を付加することとし，実際に熱応力による破壊現象を提示することを考えた．そのため，熱応力による破壊現象を実際に生じさせる実験を行い，ＰＣシミュレータの操作画面に表示させる熱応力による破壊現象の画像データなどを収集した．

本章では，シミュレータをさらに発展させて総合海事教育システムとするために必要な熱応力による破壊現象に関する研究について述べる．その結果，学生は機関システムの損傷に関係している熱応力に関する基礎知識についてＰＣ版シミュレータにより習得することができ，熱応力を考慮した運転操作を行うとともに，熱応力が原因となる機関損傷を理解することが可能となる．

6.2 熱応力による脆性破壊実験

6.2.1 実験の目的

船舶の主機関として使用されているディーゼル機関のシリンダライナやシリンダカバーなど，ディーゼル機関の構成部品として鋳鉄が使用されている．鋳鉄はこれら以外にも，モーターやポンプのケーシングとしても幅広く使用されている材料である．特に燃焼室を構成しているシリンダカバーやライナの内部と外部の温度差が大きく，常に熱応力が発生している状況である．その結果，熱応力による疲労破壊により構成材料にき裂が発生する損傷事故がディーゼル機関にしばしば見られている[6.2]．そのため，燃焼室を形成するシリンダライナにクラックが発生して冷却室内に浸入し，試運転時にインジケータコックから水が検出されることがある．また，漏えいした冷却水がシリンダ内に存在する状態でターニングをせずにいきなり圧縮空気を投入

して起動したところ，シリンダ内の冷却水が圧縮されないために連接棒(コネクティングロッド)に過大な圧縮力がかかり変形する海難事故が報告されている[6.3]．従って，実際の船舶の運転操作にあたり暖機の重要性や熱応力による損傷を避けるために時間をかけて主機の出力上昇を行うことに関して学生に指導している．しかしながら，熱応力により発生する破壊現象を体験することがないので，熱応力による破壊の危険性について実感することは困難である．また，破壊事故が発生すると船舶に重大な損傷を与えるため，絶対に避けなければならない現象であるので，機関士として破壊現象の基礎知識は不可欠である．

そこで，熱応力により舶用機関を構成している材料が脆性破断される破壊現象を明らかにして，現在のＰＣ版シミュレータで不足している熱応力による破壊現象に関する知識獲得の機能を新たに追加することを目的に本研究を開始した．しかしながら，実際の機器を用いて熱応力に関する指導を行うために必要な基礎情報を得るための実験を行うのは困難なので，試験片を用いた実験を行って脆性破壊に関するデータ収集を行った．

その第一段階としてシリンダライナなどに使用されている脆性材である鋳鉄の試験片を用いて熱応力により脆性破壊させる基礎実験を行い，熱応力により試験片が破壊することを確認した．その際，き裂が伝播して破壊に至る状況の画像撮影および基礎的データの収集を行った．

6.2.2 試験片

試験片として FC200 の鋳鉄を使用した．図 6.1 に試験片の大きさと形状を示す．厚さは 4.5mm である．引張応力を発生させるために両端を固定しなければならないので,上部に直径 12.5mm そして下部に直径 20mm の穴を開けた．そして，中央部には放電加工により長さ 25mm，幅 0.25mm の切り欠きを入れた．試験片の材料定数は便覧[6.4]による次の値とした．

引張強さ：200MPa，縦弾性係数Ｅ：74GPa，横弾性係数Ｇ：24GPa，ポアソン比：0.32，線膨張係数 11.9×10^{-6}(1/K)

また，超高速度ビデオカメラで撮影するために必要なトリガー信号を得るため，完成した試験片の裏面に絶縁塗料を塗布した．なお，表面をバーナー

で加熱することにより絶縁効果が低下することを考慮して二層に塗布した．次に，き裂発生により電気回路が遮断されるタイミングをトリガー信号とするため，試験片の切り欠け先端に導電性塗料を数ミリの幅で塗布し，塗料表面に導線をパテで接着した．そして，導線の両端を超高速度ビデオカメラのトリガー入力に結線した．なお，導線を被覆している表面のビニールを熱から保護するため，熱が伝わらない程度に耐火パテで導線を覆った．

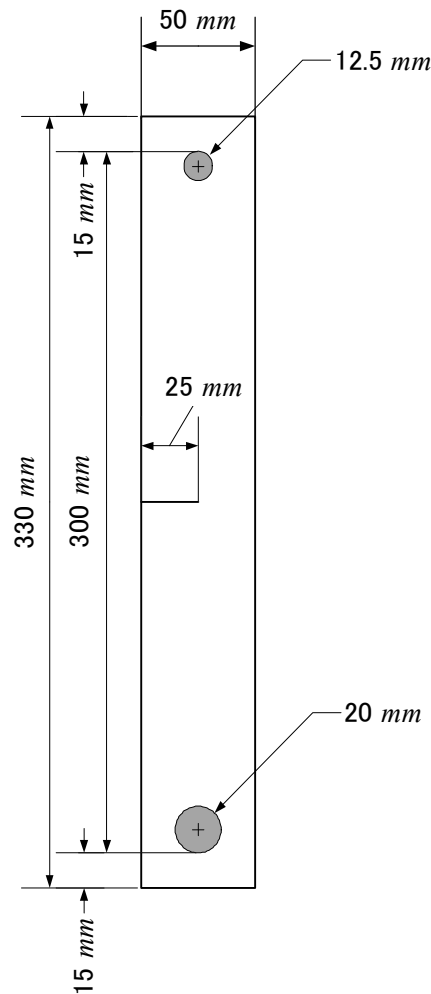



図 6.1　試験片

6.2.3 実験装置

実験は図 6.2 に示すサーボパルサを用いて，ロードセルにより試験片にかかる荷重をデータロガーを用いて連続計測を行った．本装置のロードセルは上下の移動が可能なため，試験片の治具への装着を容易に行うことができた．

また，非常に高速で伝播する脆性破壊の様子を撮影するため図 6.3 に示すパルスレーザー連動して作動する超高速度ビデオカメラシステムを使用した．

図 6.2　実験装置

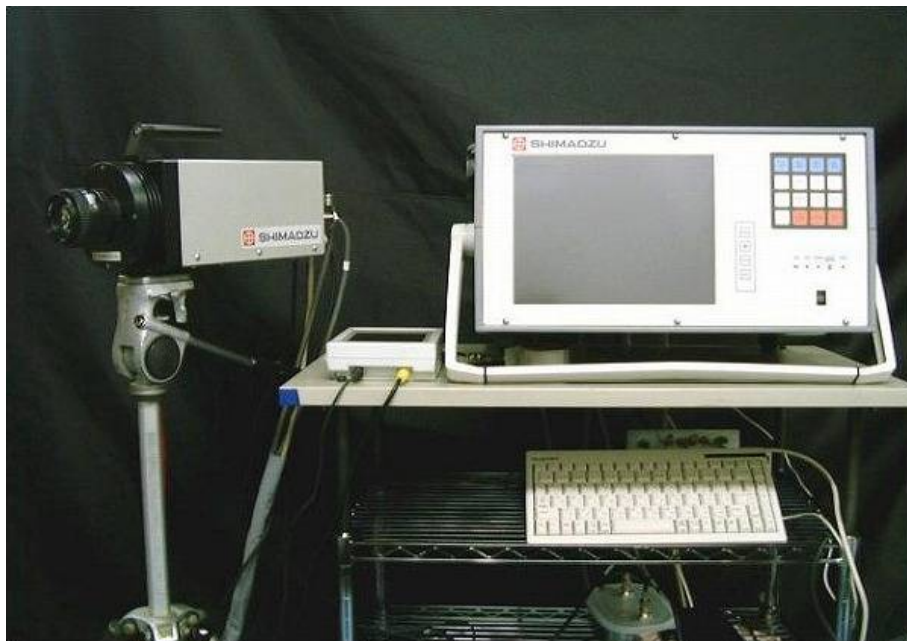



図 6.3　超高速度ビデオカメラシステム

画像撮影に使用した超高速度ビデオカメラは世界で最も進んでおり，パルスレーザーと連動して高速でかつ鮮明な画像撮影が可能である．その仕様は，解像度 312×260 pixels，撮影速度 30 コマ/毎秒から 100 万コマ/毎秒まで可

能である．ただし，記録画像枚数が 102 枚と限られているため，解析に必要が画像を撮影するため，撮影開始のトリガー信号を用いる必要がある．

6.2.4 実験方法

試験片を熱応力により破壊させるため，次の様な手順で実験を実施した．

① 試験片の上部の穴とサーボパルサのロードセルとをピンを用いて固定した後，下部の穴を台盤に設置した治具に固定した．

② その後，下部のピンを抜いてロードセルの高さを 1mm 上昇させた．その目的は，加熱により試験片が線膨張して約 1mm 下方向に伸びた状態になったときに試験片の下部の穴と治具の穴とを一致させるためである．

③ 試験片の上部穴をロードセルに固定した状態で，図 6.4 に示すように試験片の上部および下部を持ち運び式バーナーで加熱した．

図 6.4　試験片を加熱している状況

④ 試験片の温度が 300℃上昇して，約 1mm 伸びて試験片下部の穴と治具の穴が一致した状態で，ピンを試験片の下部の穴に挿入して治具と試験片を固定した．

⑤ ピンを装着して試験片が完全に固定された状態でバーナーの加熱を中

止した．

⑥　加熱を中止した時点から，室温による自然冷却により試験片の温度が低下するため，試験片に引っ張り応力が生じる．試験片にかかる荷重をロードセルにより連続して計測した．

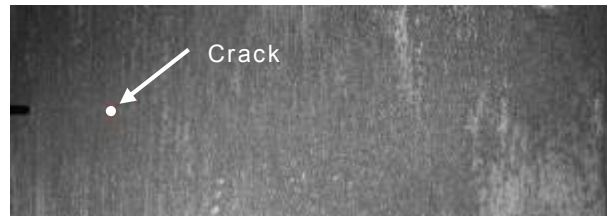
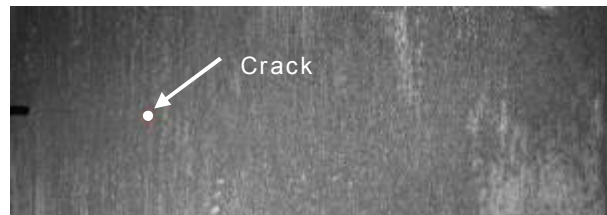
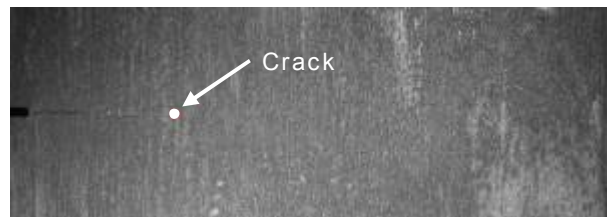
⑦　引っ張り応力の増加により，き裂が進展して回路が遮断されたタイミングをトリガー信号として超高速度ビデオカメラの撮影を開始した．

⑧　き裂が伝播して試験片が破断されるまでの脆性破壊現象を超高速度カメラで撮影した．

6.3 実験結果および考察

6.3.1 破断の状況

今回の実験により，脆性材料である鋳鉄は熱応力による引っ張り応力で破断されることを確認できた．そして，き裂が急激に進展して破断する様子を，超高速度ビデオカメラシステムにより 1 秒間に 30,000 枚の速度で撮影した．超高速度ビデオカメラにより撮影された熱応力による脆性破壊の画像データの一部を時間系列（単位μs：10^6 分の 1 秒）で図 6.5 の (a)～(n)に示す．き裂の発生から破断に至る状況を示している．各時間におけるき裂先端の位置を矢印で示している．図 6.5 において，放電加工による切り欠き先端部からき裂が進展し，応力の方向に対して垂直に進行している様子が確認できた．また，これらの写真は破断進行中に塑性変形が起こらないこと，試験片の分離によってき裂が進行していることを示している．

(a) 128μs

(b) 1056μs

(c) 1216μs

(d) 1440μs

(e) 1504μs

(f) 1536μs

(g) 1568μs

(h) 1600μs

(i) 1664μs

(j) 1696μs

(k) 1728μs

(l) 1792μs

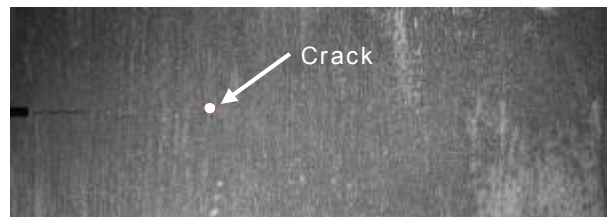
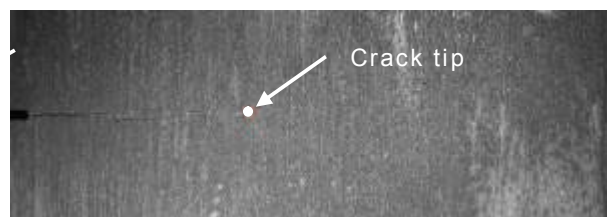
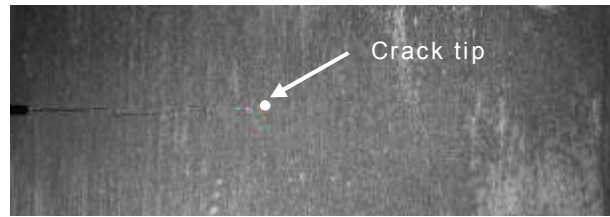
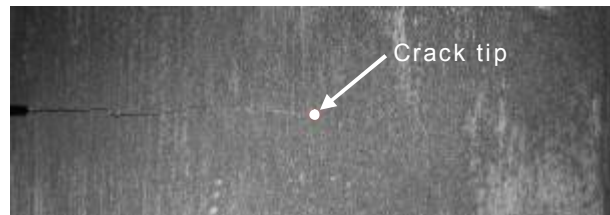
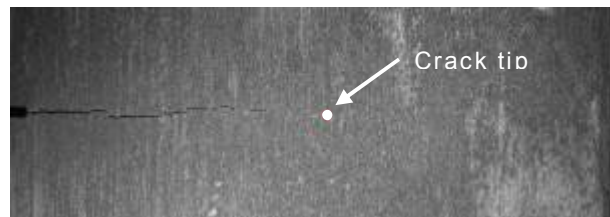
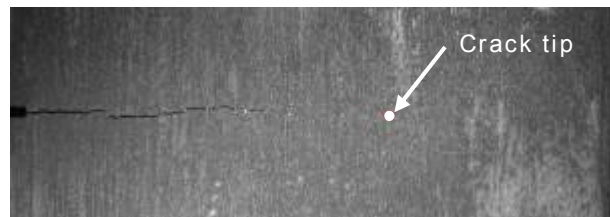
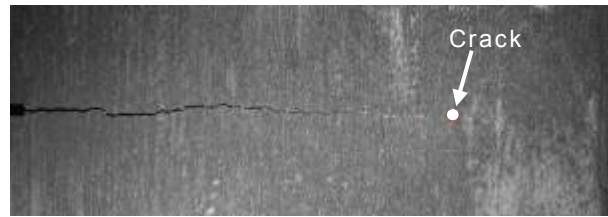
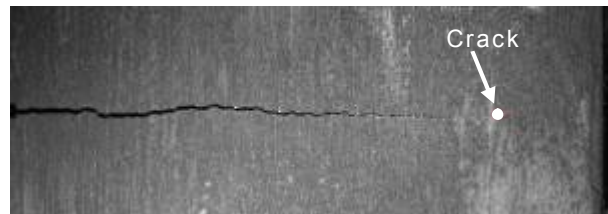
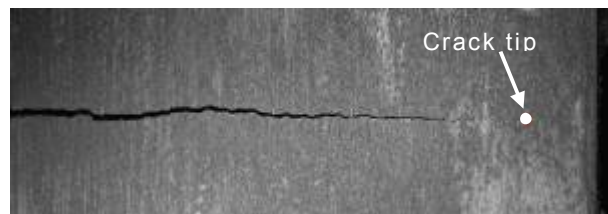
(m) 2112μs

(n) 2336μs

図 6.5　超高速度ビデオカメラによる熱応力による脆性破壊の画像

6.3.2 き裂進展速度

超高速度ビデオカメラで撮影した画像データから，き裂の進展速度を求めた．最初にき裂先端部を確認できた位置を基点とし，次にき裂先端部の座標の位置を決定して計算を行った．なお，き裂伝播時の先端部の位置については，試験片の端からの距離により決定したが，水平にき裂が伝播したと仮定して推測した．き裂先端の位置とその位置におけるき裂進展速度を図 6.6 に示す．

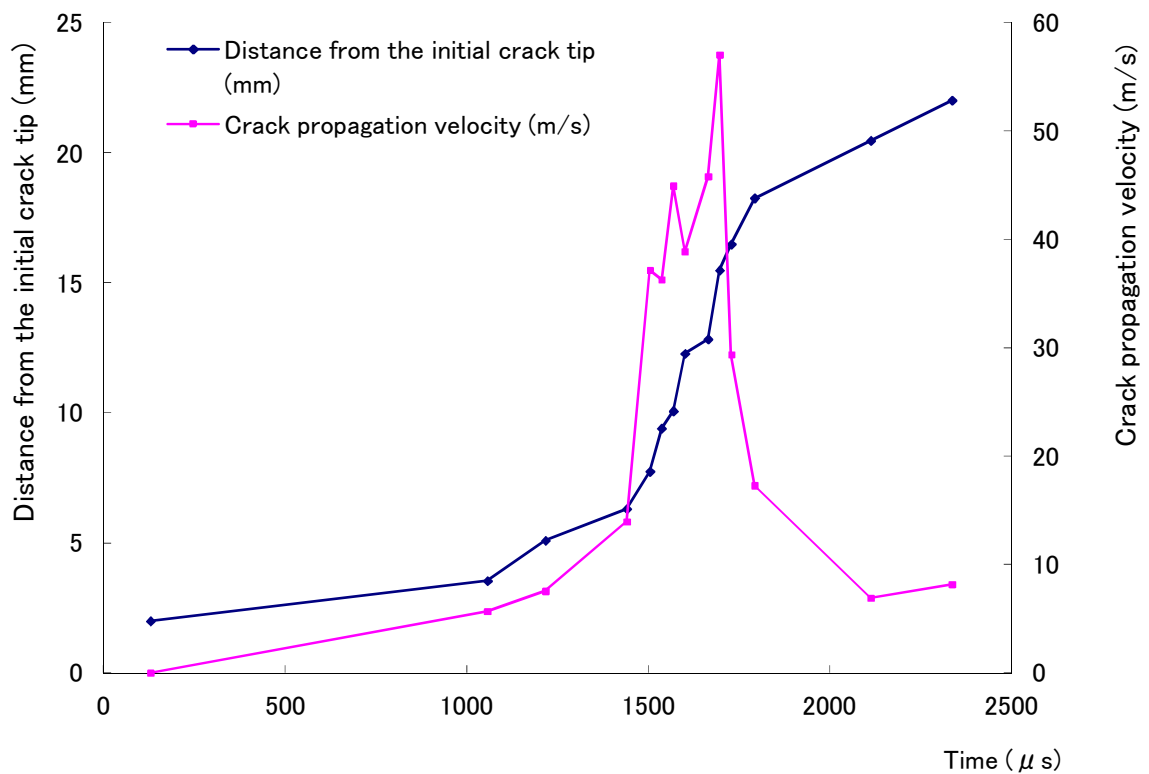



図 6.6　き裂の伝播速度

図の左側の縦軸は初期き裂先端からの距離を示し，右側の縦軸はき裂進展速度を示している．この図から，き裂の進展速度は最初の段階では遅く，途中で最大となり，終端近くの破断前に再びスピードが遅くなっていることが読み取れる．伝播速度の最大値は 57.04m/s であった．

6.3.3 破面観察

熱応力により破断した試験片の破断面を図 6.7 に示すＳＥＭ（走査型電子顕微鏡）により撮影した．撮影した場所は，初生き裂の部分とき裂の終端の部分である．20 倍，50 倍，200 倍，800 倍率で破断面を撮影した．図 6.8 に 800 倍の倍率で撮影された破断面の画像を示す．

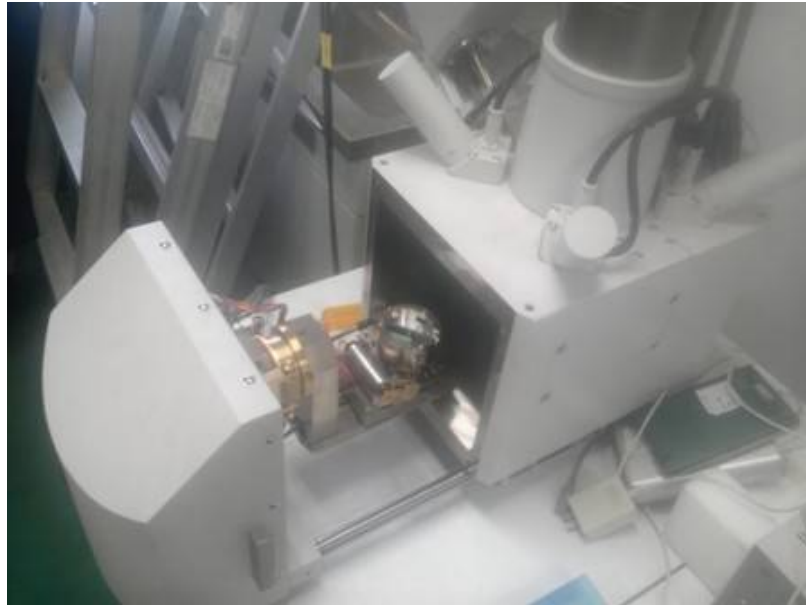
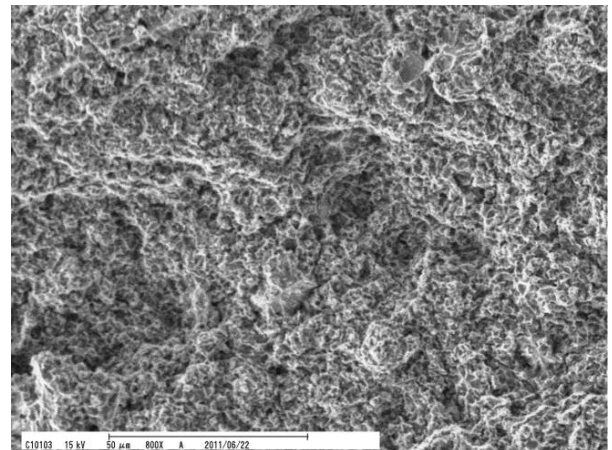
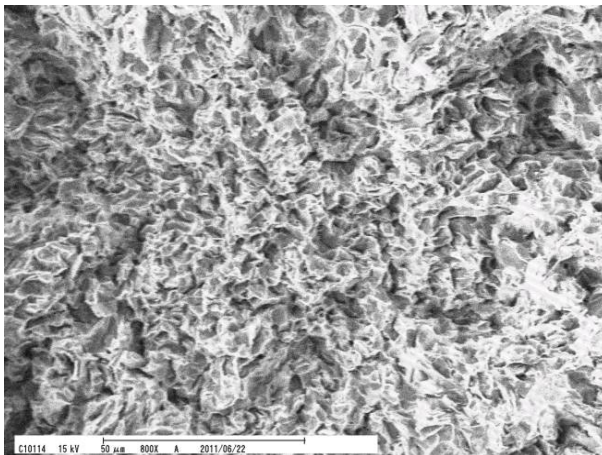



図 6.7 ＳＥＭ（走査型電子顕微鏡）

顕微鏡写真では，初期き裂と終端き裂の破面について，表面の色に違いが見られるがその模様には大きな差は見られなかった．いずれの破面も微細なき裂が合体することにより形成されていて，構造用鋼材の脆性破面と同様のへき開破面を示していた[6.5]．

(a)　脆性破壊の初期き裂の破断面

(b)　脆性破壊の終端き裂の破断面

図 6.8　破断面の写真（800 倍）

図 6.9 レーザーフォーカス変位計

6.3.4 破面あらさ

破面観察では破断表面の違いを明らかにできなかったので，破壊面の微小観察を行い，き裂進展に伴って生じるプロセスゾーンの痕跡である表面の粗さを計測した．粗さの評価には図 6.9 に示すレーザーフォーカス変位計を用いた．変位計のき裂面評価分解能は xy 方向が 10μm ピッチ，z 方向精度が 2μm である．

破面の粗さ計測の概念図を図 6.10 に示す．使用した変位計は最大 150mm の長さまで計測が可能であるが，今回の実験の破断面の長さは 25mm なのでスムーズに計測することができた．

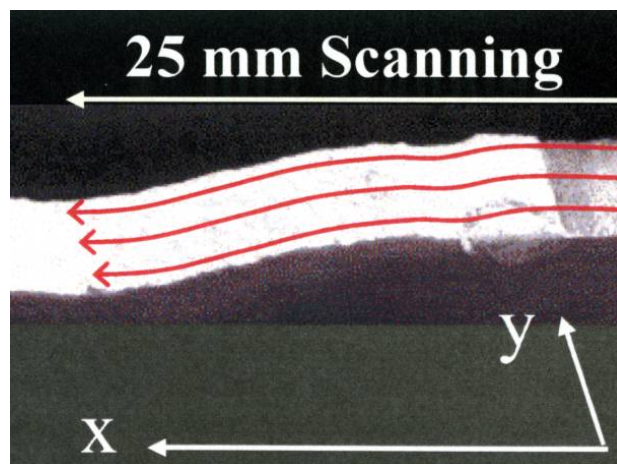



図 6.10　表面粗さ計測の概念図

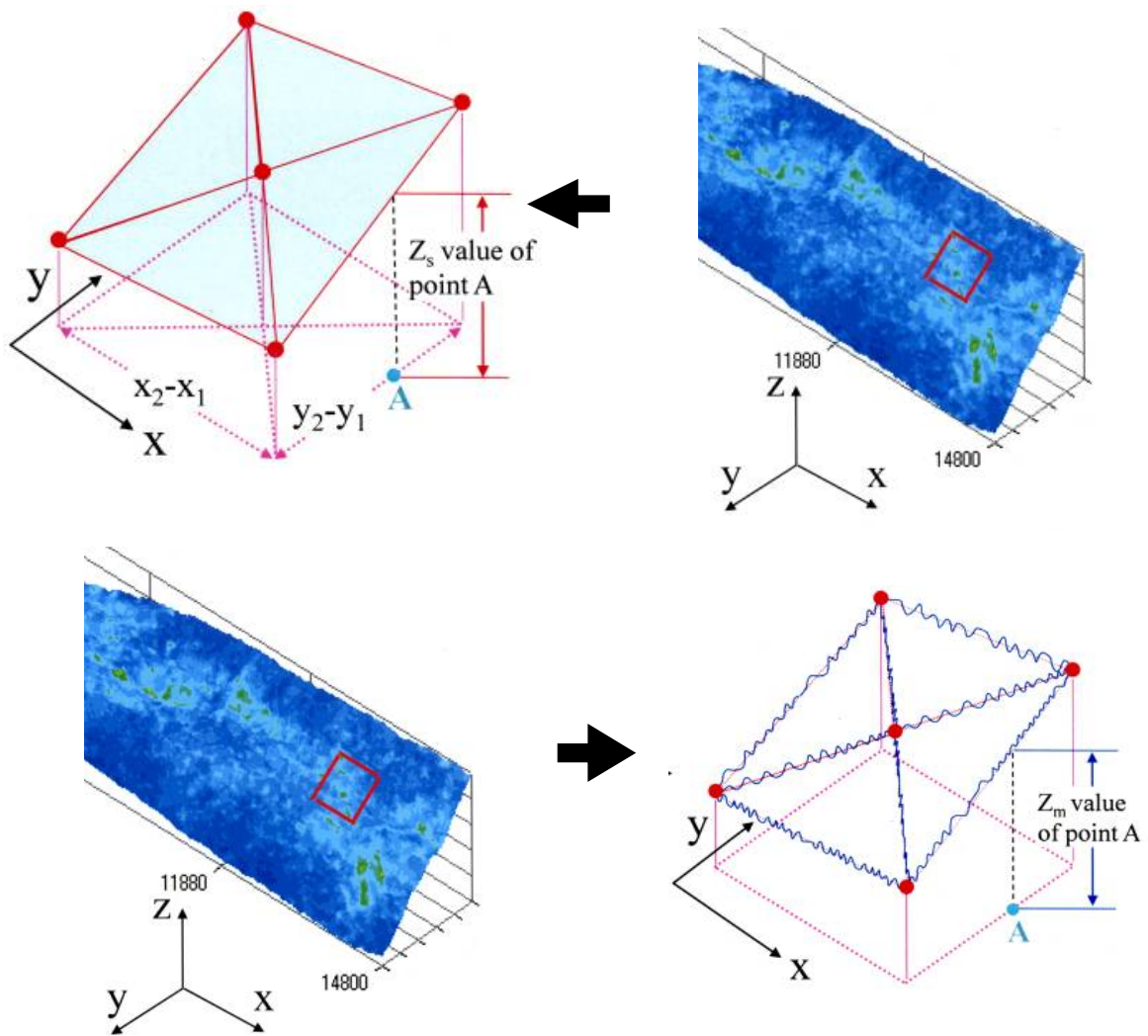



図 6. 11　表面粗さ計測の方法

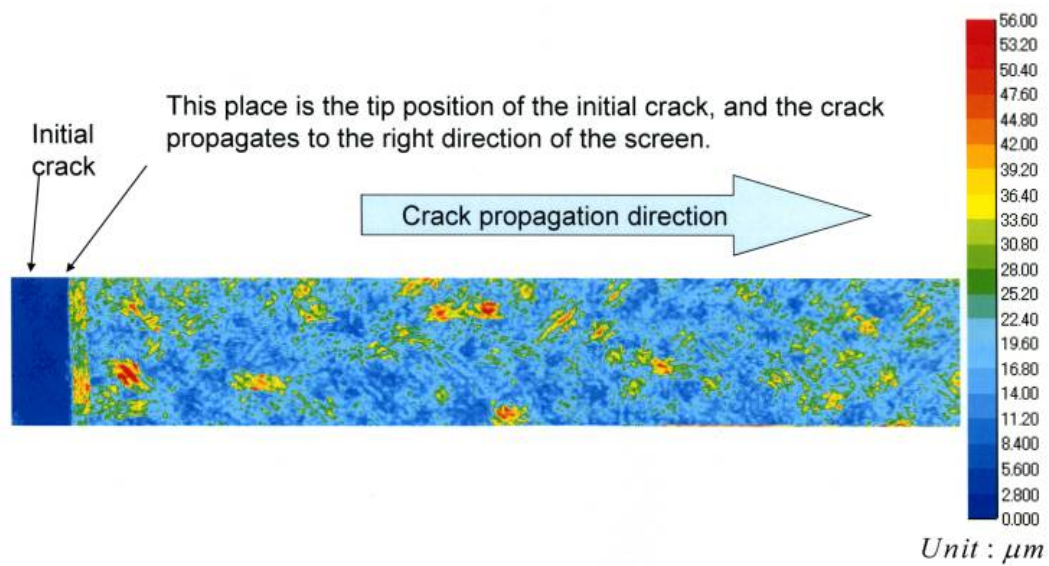



図 6. 12　破断面の表面粗さ

一般に破面粗さは，破面上の各測定点の算術平均粗さを求める下記に示す式(1)で与えられる．

$$R_a = \frac{1}{\ell}\int_x^{x+\ell} \left| z_m(x) - z_{ave} \right| dx \tag{1}$$

ただし，実験で得られた破面は破面全体が傾斜もしくは曲面となっているため，その影響を考慮する必要がある．そこで，図 6.11 に示すように粗さ評価範囲のコーナーと中心点について下図のような 4 つの平面が基準面になると仮定し，下述の式(2)に基づいて粗さを求め，それを中心点の粗さとした.傾斜した基準面に対する粗さを計算により求めた結果を図 6.12 に示す．破面の図で基準面から計測高さが大きい箇所が赤く示されていて，計測高さが低い箇所が青く表されている．初期き裂の表面と最終破面の表面粗さについては，大きな差は見られなかった．今回の実験では，熱応力による脆性破壊が初期き裂の段階から発生したと考えられる．

$$R_a' = \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}\int_{y_1}^{y_2}\int_{x_1}^{x_2} \left| z_m(x, y) - z_s(x, y) \right| dxdy \tag{2}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = \Delta y = y_2 - y_1 = 100$$

6.3.5 熱応力による荷重履歴

試験片の温度低下に伴い材料が収縮するため，熱応力による引張り荷重が試験片に発生する．試験片にかかる引っ張り荷重を 200 ミリ秒の間隔でロードセルにより連続して計測し，接続されているデータロガーに収集した．収集されたデータから得られた荷重と時間の関係を荷重履歴として図 7.13 に示す．横軸に時間，縦軸に荷重を示している．時間の経過とともに試験片の温度が低下して，冷却作用による熱応力による引っ張り荷重がほぼ直線的に増加していることを示している．

試験片は 61132.4N の最大荷重を示している 109 秒の時点で破断したため，荷重が瞬時に 0 に低下している．なお，破断時の試験片の温度を赤外線非接触温度計で計測したところ約 200 度であった．

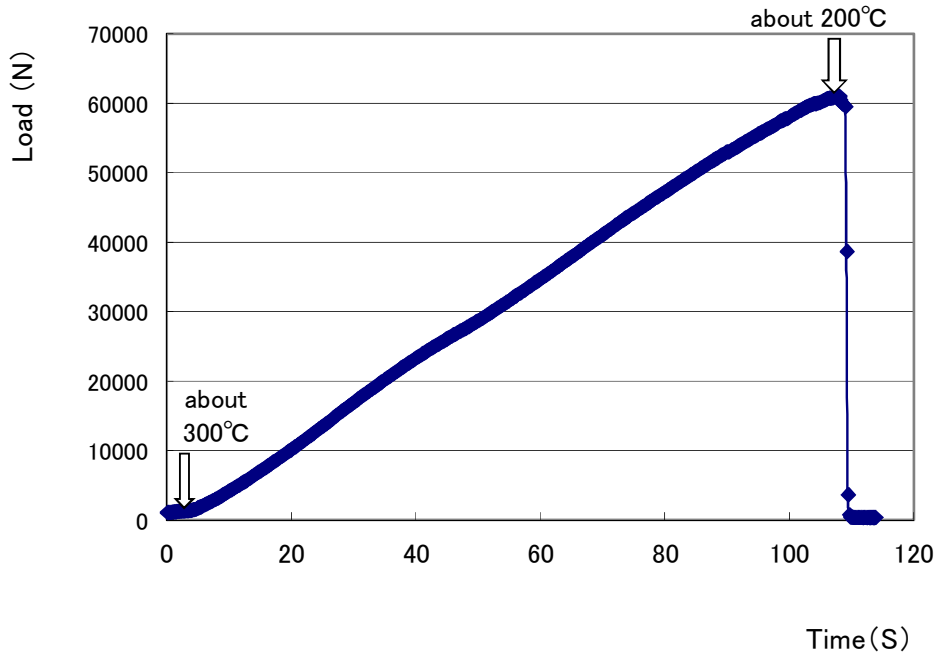



図 6.13　試験片の荷重履歴

6.3.6 応力拡大係数

試験片の荷重データに基づき，き裂の進展の条件である応力拡大係数を求めた．応力拡大係数求める計算式として，片側にクラックのある帯板の一様引っ張り荷重の応力拡大係数を求める計算式(3)を用いた[6.6]．

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}\cdot F(\alpha) \quad ; \quad \alpha = a/W \tag{3}$$

$$F(\alpha) \fallingdotseq 1.12 - 0.231\alpha + 10.55\alpha^2 - 21.72\alpha^3 + 30.39\alpha^4$$

式(3)にそれぞれの値を代入して計算を行う．

$$\sigma = 61132.4\text{N} \div (50\times4.5\text{mm}) = 271.6996\ \text{N/mm}^2$$

$$= 271.6996\ \text{MPa}$$

$$\alpha = a/W = 25\text{mm}/50\text{mm} = 0.5$$

$$F(\alpha) \fallingdotseq 1.12-0.231\alpha+10.55\alpha^{2}-21.72\alpha^{3}+30.39\alpha^{4}$$

$$=1.12-0.231\times0.5+10.55\times0.5^{2}-21.72\times0.5^{3}+30.39\times0.5^{4}$$

$$=1.12-0.1155+2.6375-2.7150+1.8994$$

$$=2.8264$$

$$K_{I}=\sigma\sqrt{\pi a}\cdot F(\alpha)=271.6996\sqrt{\pi\cdot25\times10^{-3}}\times2.8264$$

$$=271.6996\times(3.14\times25\times10^{-3})^{2/1}\times2.8264$$

$$=271.6996\times0.28018\times2.8264$$

$$=215.1591\ \mathrm{MPa\cdot m^{1/2}}$$

6.4 まとめ

シミュレータの操作にあたっては，機関システムの損傷を防止することを念頭に置いて操作しなければならない．しかながら，学生は実際の損傷事例を体験することが無いので，主機関の出力上昇時に熱応力に注意することを指導していても，なぜそのことが運転操作にあたって重要なのか実感することが困難である．

そこで，鋳鉄に熱応力を実際に発生させて脆性破断させる実験により，脆性材の鋳鉄は熱応力により破断することを確認するとともに，熱応力により鋳鉄が脆性破壊する現象を超高速度カメラで撮影を行った．

本実験の結果に基づき，ＰＣ版シミュレータにき裂伝播の速さなどの具体的数値や実際の破断画像をシミュレータの機能に付加することにより，船舶運航に関連する熱応力による破壊に関する基礎知識の獲得が視覚的に獲得できるようになる．その結果，ＰＣ版シミュレータの持っている汎用性という長所を生かすことができ，ＰＣ版シミュレータの新たな活用法としての将来性を示すものと考えている．また，学生の熱応力による破壊現象への理解が深まり，機関システムを操作する際の慎重な出力上昇の必要性を体感的に理解できることが期待できる．

［第６章参考文献］

［6.1］　Dr. Leonard Tomczak，The latest developments in 3D visualization engine room simulators for offshore industry，The 10th International Conference on Engine Room Simulators (ICERS 10)，Proceeding (CDROM) (2011)

［6.2］　原野二郎他，超大形ディーゼル機関シリンダカバーの破損因解析とその対策，日本舶用但関学会誌，Vol.6,No.4，P43-58，(1971)，

［6.3］　海難審判採決録 2005 年度，平成 16 年神審第 75 号

［6.4］　日本機械学会編，伝熱ハンドブック，丸善，P370，(1993)

［6.5］　北川英夫，小寺沢良一著，フラクトグラフィ，培風館，(1977)

［6.6］　W.F.Brown, Jr. and J.E.Srawley, Plane Strain Crack Toughness Testing of High Strength Metallic Materials, ASTM STP 410，P12，(1966)

第７章　結論

本論文は，これから船舶に乗船しようとする未熟練者を主たる対象に開発したＰＣ版機関室シミュレータ（以下ＰＣ版シミュレータ）の開発と海事教育訓練に効果的に活用するために必要な教育手法について最初に述べた．次に，インストラクターの指導に必要な情報を獲得するため，ＰＣ版シミュレータ操作時の学生の振る舞いに関してデータを収集して分析した結果について述べた．最後に将来の発展を目的に行った熱応力による破壊現象に関する実験結果について述べた．本章でその総括を行う．

第１章では，本研究を開始するに至った背景や研究目的を明らかにし，シミュレータに関する系統的な研究の全体像について述べた．

第２章では，はじめにＰＣシミュレータを開発するに至った背景について述べた．続いてＰＣ版シミュレータの概要並びに多人数に対する教育訓練や自学自習に対応できるように新たに追加した機能およびそれらを用いて効果的な教育を実施するために必要な教育手法について述べた．そして，シミュレータの改善や最適な教育手法を適用するため，日本人学生及び外国人研修生による開発したシミュレータの評価について述べた．ＰＣ版シミュレータを用いた自学自習によるシミュレータ訓練は，自ら積極的に体験することにより学ぶ学習方法である．つまり，学生のレベルや進度に柔軟に対応できる．このようにシミュレータを用いた個別学習法は従来の受け身の教育から自ら知識を獲得するという能動的な教育への転換であるが，学生による評価から有効な効果が確認できたので開発の目的はある程度達成された結果が得られた．

第３章では，海事教育の現場に新たに用いられるようになったＰＣ版シミュレータによる教育訓練を実施するために新たに作成した教材およびＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練手法について述べた．どのような教育訓練手法を適用するのが良いのか，各教育手法をＰＣ版シミュレータを用いた教育訓練に適用した場合の教育効果を確認するための学習実験の結果について述べた．また，学習方法ごとに知識獲得状況に関する教育訓練成果や学生の振る舞いに関するデータを収集して考察を行った．さらに，学習方法を組み合わせた場合の教育訓練の成果に関して同様にデータを収集し考察を行った．

第４章では，ＰＣ版シミュレータ操作時の操作エラーに関する研究結果について述べた．ＰＣ版シミュレータの基本操作時に学生が犯すエラーの分析および解析の結果並びに未熟練者の操作エラーについても考察を行った．また，マウスによりＰＣ版シミュレータを操作するが，マウスを操作する過程においてもシステムに関する情報収集，操作機器の確認，操作後の状態確認のために画面の注視が行われている。従って，操作時の振る舞いについて，マウスの操作手順の観察に加えて操作に必要な情報収集や操作の確認に関するために操作画面をどのように注視しているのか，視線に関する観察を行い，より詳細な操作時の振る舞いを明らかにした。

第５章では，ＰＣ版シミュレータを使用した教育訓練において機関システムの運転操作知識を獲得する過程を明らかにした．また，獲得された運転操作知識が１年後にどのように変容しているのかＰＣ版シミュレータの操作の振る舞いに関して時間経過が与える影響について検証を行い，ＰＣ版シミュレータの教育訓練効果の持続性を明らかにした。

第６章では，ＰＣ版シミュレータをさらに発展させて総合海事教育訓練システムとするために，新たに追加する熱応力破壊に関する知識獲得の機能に関する実験的研究について述べた．その結果，これらの熱応力に関する情報をＰＣ版シミュレータに追加することが可能となった．従って，学生は機関システムの運転操作にかかわる熱応力に関する基礎知識をＰＣ版シミュレータを用いて習得することができ，熱応力を考慮した運転操作を行うとともに，熱応力が原因となる機関損傷を理解することが期待できる．

本研究の成果として，わが国の海事教育訓練の分野に新たに出現したＰＣ版シミュレータについて，その有効性や教育訓練効果が明らかになった．同時に，ＰＣ版シミュレータの操作に基づき未熟練者が犯しやすい操作エラーや操作時の振る舞いについても明らかにすることにより，インストラクターの指導に必要な事項を示すことができた．また，現在のシミュレータに不足している故障原因に関係する知識の獲得を目的として，熱応力破壊に関する実験結果である画像データを教育訓練において提示することは，ＰＣ版シミュレータのさらなる発展の方向性を示すことができた．

従って，本研究が海事教育訓練の向上やシミュレータを活用した研究の発展に寄与できると考える．

本論文に関連する論文・講演

１　論文

［1］「ＰＣ版機関室シミュレータの開発と評価」, 池西憲治, 山本創二郎, 青森直人, 日本教育工学会論文誌　28（suppl.）, P201-204, 2004 年 3 月

［2］「ＰＣ版機関室シミュレータの海事教育訓練手法に関する研究」, 池西憲治, 引間俊雄, 佐藤圭司, Tran Hong Ha, Luu Thanh Cong, 日本マリンエンジニアリング学会誌　第 41 巻　第 2 号, P140-145, 2006 年 3 月

［3］「Study on the Human Error by Unskilled Trainee in Marine Engine Plant Operation」（舶用機関プラントの操作における未熟練訓練生による操作エラーに関する研究）, Kenji Ikenishi, Toshio Hikima, Luu Thanh Cong, Tran Hong Ha, Vuong Hai Au, Doan Van Thanm, 日本マリンエンジニアリング学会誌　第 41 巻　増刊号, P183-188, 2006 年 9 月

［4］「Influence by Passing of Time to Students' Behavior of Operation on PC Based Engine Room Simulator」（ＰＣ版機関室シミュレータの操作における学生の振る舞いに関して時間経過が与える影響について）, Kenji Ikenishi, Kiyoshi Maeda, 日本マリンエンジニアリング学会誌　第 45 巻　増刊号, P115-120, 2010 年 11 月

［5］「Experimental Study on Thermal Stress Fracture Problem Using Image Correlation Method」（画像相関法を用いた熱応力破壊問題に関する実験的研究）, Toshihisa Nishioka, Takehiro Fujimoto, Kenji Ikenishi, Hideto Tsuru, Yuito Komaru, ATEM '11, Kobe, Japan, Sep. P19-21, 2011 年 9 月

［6］「Study on Thermal Stress-Induced Brittle Fracture of Cast Iron 」（熱応力による鋳鉄の脆性破壊に関する研究）, Kenji Ikenishi, Toshihisa Nishioka, Takehiro Fujimoto, Yuito Komaru, Hideto Tsuru, 日本マリンエンジニアリング学会誌　第 47 巻　第 2 号, P133-138, 2012 年 3 月

２　国際学会発表

［1］「Engine Room Simulator Based on Personal Computer for Effective Self-education」, International Maritime Lecturer's Association Twelfth Conference Proceeding, P327-336,

2002 年 10 月
[2] 「The Instructional Design and Its Evaluation Using Engine Room Simulator based on PC」, International Maritime Lecturer's Association thirteenth Conference Proceedings, P164-171, 2004 年 9 月
[3] 「Study on the Learning Method Suitable for the Engine Room Simulator Based on Personal Computer」, Sixth International Conference on Engine Room Simulators Proceeding, P104-111, 2004 年 9 月
[4] 「Study of Efficient Self-Study Using The ＰＣ-Based Engine Room Simulator」, Seventh International Conference on Engine Room Simulators Proceeding, P119-128, 2005 年 11 月
[5] 「A Study on Beginner's Human Error in Operation of Marine Engine Plant」, 7th International Symposium on Marine Engineering Proceeding Session 66 "Risk Assessment and Human Factors" 66-2 P1-5, 2005 年 10 月
[6] 「Influence by the Passing of Time to Students' Behavior of Operation on PC Based Engine Room Simulator」, ISME BUSAN 2009 Proceedings（CD－ROM）, 2009 年 10 月
[7] 「Study on Brittle Fracture of Cast Iron Induced by Thermal Stress, ISME Kobe 2011 Proceedings」（CD－ROM）, 2011 年 10 月

３ 国内学会発表

[1] 「ＰＣ版機関室シミュレータの開発と評価」, 日本教育工学会 第 19 回全国大会講演論文集, P839-840, 2003 年 10 月
[2] 「ＰＣ版機関室シミュレータを使用した教育訓練への個別化教授システムの適用」, 第 70 回マリンエンジニアリング学術講演会 講演論文集, P81-84, 2003 年 10 月 22 日
[3] 「ＰＣ版機関室シミュレータにおける操作履歴の分析」, 日本教育工学会 第 20 回全国大会講演論文集, P915-916, 2004 年 9 月
[4] 「ＰＣ版機関室シミュレータを使用した教育訓練における学習方法と教育効果について」, 第 72 回マリンエンジニアリング学術講演会 講演論文集, P103-104, 2004 年 10 月

[5] 「手続き的知識を獲得する過程における誤りに関する研究」，日本教育工学会第21回全国大会講演論文集，P767-768，2005年9月

[6] 「機関室シミュレータ操作における視線分析に関する研究」，日本教育工学会　第22回全国大会講演論文集，P561-562，2006年11月

[7] 「視線測定技術の応用によるＰＣ版機関室シミュレータ操作過程の分析」，第75回マリンエンジニアリング学術講演会　講演論文集，P89-90頁，2006年11月

[8] 「機関室シミュレータの操作知識の変容に関する研究」，日本教育工学会　第23回全国大会講演論文集，P265-266頁，2007年9月

[9] 「ＰＣ版機関室シミュレータの操作知識に影響を与える要因について」，第77回マリンエンジニアリング学術講演会　講演論文集，P57-58，2007年10月

[10] 「ＰＣ版機関室シミュレータの操作マニュアルの改善に関する研究」，第78回マリンエンジニアリング学術講演会　講演論文集，P115-116，2008年9月

[11] 「ＰＣ版機関室シミュレータの基本操作エラーに関する一考察」，日本教育工学会　第24回全国大会講演論文集，P341-342，2008年10月

[12] 「ＰＣ版機関室シミュレータにおける操作エラーの気づきに関する研究」，第79回マリンエンジニアリング学術講演会　講演論文集，P63-64，2009年9月

４　海技大学校研究報告

[1] 「視線測定技術の応用によるＰＣ版機関室シミュレータの操作過程の分析」，海技大学校研究報告　第50号，P53-58，2007年3月

[2] 「時間経過がＰＣ版機関室シミュレータの教育効果に与える影響について」，海技大学校研究報告　第52号，P23-31，2009年6月

謝　辞

本研究を行うにあたり, 西岡　俊久教授, 藤本　岳洋准教授には終始多大な御援助, 御助言, 励ましの御言葉をいただきました. ここに, こころより感謝いたします. また, 構造強度シミュレーション工学研究室の岡本　五郎氏, 蔵谷　広子女史をはじめ学生の皆様には研究遂行に関して様々な協力をいただいたことに感謝いたします. 特に実験実施に協力してもらった小丸　維斗学生に感謝いたします.

研究に関して, シミュレータの開発にあたり協力いただいた山本　創二郎氏(寺崎電気産業株式会社)並びに青森　直人氏(三井造船株式会社), シミュレータの評価や教育訓練手法に関して熱心にデータを収集にしていただいたベトナム海事大学機関学部の JICA カウンターパートであった Dr. Tran Hong Ha, Mr. Luu Thanh Cong, Mr. Vuong Hai Au, Mr. Doan Van Thanm, そして熱応力破壊実験の試験片作成に協力いただいた弓削商船高等専門学校の鶴　秀登教授, 伊藤 嘉基氏に深く感謝いたします. そして, 海技大学校における研究に協力していただいた, 引間 俊雄先生, 前田 潔先生, 佐藤 圭司先生に感謝いたします.

さらに, シミュレータの操作データ収集やアンケート調査に快く協力してくれた海技大学校並びにベトナム海事大学の学生に感謝いたします.

最後に, シミュレータに関する本研究について常に指導並びに励ましをいただき, 英語の論文執筆にあたって助言をいただいた故中村 峻先生（元海技大学校長）に深く感謝いたします.

＜ディーゼル発電機システム＞

１　ディーゼル発電機システムの機能

ディーゼル原動機（４サイクル）により発電し，船内に電力を供給する

２　ディーゼル発電機システムの構成機器

1.　機関室

①	ディーゼル原動機及び発電機	２sets
②	直結ポンプ（清水ポンプ，ＬＯポンプ，燃料ポンプ）	２sets
③	ターニング装置	２sets
④	ＬＯプライミングポンプ（制御盤から操作）	２sets
⑤	空気冷却器	２sets
⑥	清水クーラ	２sets
⑦	ＬＯクーラ	２sets
⑧	ディーゼル発電機用エクスパンションタンク	１set
⑨	ＬＯサンプタンク	２sets
⑩	操縦位置切替及び起動・停止ボタン	２sets

2.　制御盤（原動機の運転操作）

①	起動・停止ボタン（表示機能）	２sets
②	非常停止用ボタン	２sets
③	トリップリセットボタン	２sets
④	ＬＯプライミングポンプ起動・停止・自動発停ボタン	２sets
⑤	制御モード切替ボタン（遠隔・自動）	２sets

3.　配電盤

①	ＡＣＢ（Close，Open）	２sets
②	自動負荷移動ボタン	２sets

4.　配管系統

①　配管（燃料系統，ＬＯ系統，冷却清水系統，蒸気系統，冷却清水系統，冷却海水系統，起動空気系統）

②　各系統の弁及び計器

- ストップバルブ
- 電磁弁
- 三方弁
- 逆止弁
- 空気制御弁
- 圧力計（ＬＯ，冷却清水，起動空気）

３　運転操作

1.　１号ディーゼル発電機起動

①　準備作業

- 発電機室のベンチレーションファンを起動する
- ＬＯ系統のバルブを開け，プライミングポンプ起動して“AUTO”運転にする
- 各系統のバルブを開ける（冷却清水系統，冷却海水系統，燃料系統）
- 燃料はＤＦＯを使用する
- ターニングを行い，ターニングバーを所定の位置に戻す（インターロック）
- 起動空気系統のバルブを開ける

②　起動操作

- すべての系統の状況を確認する
- ローカル（機関室）の制御位置から起動する

③　配電盤操作

- 各部の異常の有無を点検する
- 制御モードを遠隔（Remote）にする
- 排気ガス温度が上昇し，100℃に達した状態になればＡＣＢのボタンを押す（自動投入）
- 発電機の負荷変動による各部の変化をチェックする（負荷増減ボタンにより確認する）

2.　２号ディーゼル発電機起動及び並列運転

①　準備作業（１号ディーゼル発電機動と同様の作業を行う）

②　起動操作

- すべての系統の状況を確認する
- ローカル（機関室）の制御位置から起動する

③　配電盤操作
- 各部の異常の有無を点検する
- 制御モードを遠隔（Remote）にする
- 排気ガス温度が上昇し，100℃に達した状態になればＡＣＢのボタンを押す（自動投入）
- 並列運転となり負荷を１号と２号で負荷を分担する
- 発電機の負荷変動による各部の変化をチェックする（負荷増減ボタンにより確認する）

3.　１号発電機を停止し，スタンバイモードとする

①　負荷を２号発電機に移動し，ＡＣＢを Open とする
- １号発電機配電盤の Auto Load Shift ボタンに押し，負荷を２号発電機に移動
- 負荷が０になったら，配電盤のＡＣＢが Open となる（自動 Open）

②　無負荷運転で排気温度を下げ（約 250℃），原動機を停止する（約 10 分程度）
- １号発電機原動機の停止ボタンを押す
- プライミングポンプが自動起動する（予め AUTO 状態になっていることを確認）
- 約２分後自動的にプライミングポンプが停止する

③　スタンバイ状態とする
- 運転制御モードを AUTO にする
- スタンバイのランプが点灯することを確認

4.　その他の操作

①　燃料の切替（ＤＦＯ→ブレンド油）

②　燃料の切替（ブレンド油→ＤＦＯ）

③　スタンバイ機の自動起動の確認
- 発電機の負荷を徐々に増加させていき，スタンバイ機が自動起動することを確認する（起動する時の負荷を確認する）

④　安全装置の作動確認
- トリップ条件の確認（ＬＯ圧力，冷却清水温度など）
- 非常危急遮断装置の作動確認

シミュレータ課題（ディーゼル発電機）

番号＿＿＿＿氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

１　ディーゼル発電機の運転

(1)　発電機の要目

①　電圧：＿＿＿＿＿＿Ｖ　周波数：＿＿＿＿＿Hz　出力：＿＿＿＿＿＿＿kw

②　回転数＿＿＿＿＿＿ＲＰＭ

(2)　正常値及び警報値

計測項目		正常値	警報値	
			Low	High
圧力	始動空気　Mpa			
	ＬＯ入口　Mpa			
	ＣＦＷ入口　Mpa			
温度	ＬＯ入口　℃			
	ＣＦＷ出口　℃			
	ＦＯ入口　℃			
	排ガス出口　℃			

(3)　原動機がトリップする条件を列記せよ。

(4)　起動に失敗する条件を列記せよ。

(5) ディーゼル発電機を起動する手順を列記せよ。

(6) ディーゼル発電機の並列運転の条件を列記せよ。

(7) 発電機の極数はいくらか。（同期速度から求める）

(7) スペースヒータの役割について述べよ。

(8) １台運転中の状態で、運転中の負荷がいくらに達すると ST/BY 機（予備機）が起動するのか。予備機が起動する運転中の発電機の負荷の値を記せ。

シミュレータ課題（ターボ発電機）

番号＿＿＿＿氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（1）発電機の要目

①　電圧：＿＿＿＿＿Ｖ　周波数：＿＿＿＿Hz　出力：＿＿＿＿＿kw

②　回転数＿＿＿＿＿ＲＰＭ

（2）正常値及び警報値

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">計測項目</th><th rowspan="2">正常値</th><th colspan="2">警報値</th></tr>
<tr><th>Low</th><th>High</th></tr>
<tr><td rowspan="4">圧
力</td><td>蒸気入口圧力　MPa</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>ＬＯ入口　MPa</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>グランド蒸気溜　MPa</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>補助コンデンサ真空　KPa</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">温
度</td><td>ＬＯ入口　℃</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>軸受　℃</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">補助コンデンサ水位　Ｍ</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">発電機出力　kw</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">復水の塩分濃度　ppm</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

（3）原動機（蒸気タービン）がトリップする条件を列記せよ。

（4）ダンプバルブの働きを説明せよ。

(5) ターボ発電機の起動条件を列記せよ。

(6) 補助復水器の真空が低下する原因を列記せよ。

(7) ディーゼル発電機が自動バックアップする運転条件を列記せよ。

(8) 過熱蒸気を使用する目的を説明せよ。また、ターボ発電機に過熱蒸気を使用している時の圧力は記せ。加えて、飽和蒸気を使用しているときのボイラ設定圧力も記せ。

シミュレータ課題（補助ボイラ）

番号＿＿＿＿＿氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

(1)　カスケードタンクからボイラに給水されるまでの系統の機器を記せ。

(2)自動点火のときの点火順序を列記せよ。

(3)　缶水循環ポンプの経路をポンプ出口から入口に至までの順序で記せ。

(4)　給水ポンプ出口のオリフィスは設ける理由を記せ。

(5)　補助ボイラがトリップする（バーナが点火中の状態から消火する）条件を列記せよ。

シミュレータ課題（主機）

番号＿＿＿＿＿氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

１　主機の要目

MCR　KW　AT　RPM　G/KW/H

NSR　KW　AT　RPM　G/KW/H

NUMBER OF CYLINDER　CYLINDER BORE　MM

２　正常値及び警報値

計測項目	UNIT	正常値	警報値	
			LOW	HIGH
M/E REVOLUTION	RPM		＼	＼
NO.1 T/C REVOLUTION	RPM		＼	＼
NO.2 T/C REVOLUTION	RPM		＼	＼
SHAFT HORSE POWER	KW		＼	＼
MAIN L.O. INLET PRESS	MPa			
PISTON COOL OIL INLET PRESS	MPa			
CAM SHAFT L.O. INLET PRESS	MPa			
L.O. FILTER DIF. PRESS	MPa			
F.O. INLET PRESS	MPa			
F.O. DIF. PRESS	MPa			
COOL F.W. INLET PRESS	MPa			
COOL S.W. INLET PRESS	MPa			
START AIR PRESS	MPa			
CONTROL AIR PRESS	MPa			
MAIN L.O. INLET TEMP.	℃			
NO.1 PIST. COOL OIL OUT TEMP.	℃			
F.O. INLET TEMP.	℃			
COOL F.W. INLET TEMP.	℃			
NO.1 CYL. C.F.W. OUTLET TEMP.	℃			
AIR COOLER S.W. INLET TEMP.	℃			
AIR COOLER AIR OUTLET TEMP.	℃			
NO.1 SCAV. AIR. CHAAMBER TEMP.	℃			
EXH.GAS NO.1 CYL OUTLET TEMP.	℃			
EXH.GAS NO.1 T/C INLET TEMP.	℃			
THRUST BEARING PAD TEMP.	℃			
ENGINE ROOM TEMP.	℃		＼	＼

３　次の問いに答えよ

(1) シリンダ油のプライミングを行う理由を述べよ

(2) 排気弁が回転する理由を述べよ。

(3) 排気弁は何の力によって開いているか。その力を記せ。

(4) 燃料系統のエア抜きを行っている理由を記せ。

(5) R/Up 作業を列記せよ。

(6) 主機がEMERGENCY TRIPする条件を列記せよ。(危急遮断の条件)

(7) 主機がAUTO SLOW DOWN する条件を列記せよ。(自動減速の条件)